

**NO SALE A
DOMICILIO**

T
660.28426

B38

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA
PERUANA**



**FACULTAD DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

MEMORIA DESCRIPTIVA

**"PROPUESTA TECNICA PARA EL SECADO DE AJI DULCE EN UN SECADOR
DE LECHO FLUIDIZADO"**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
EDWARD BENITES RIOS**

IQUITOS - PERU

2 0 1 3

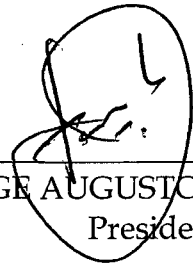
DONADO POR:
Benites Rios, Edward
Iquitos, 17 de 02 de 2014



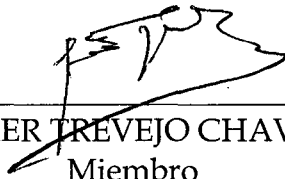
309

Miembros del Jurado

Memoria Descriptiva aprobada en Sustentación Pública en la ciudad de Iquitos en las instalaciones del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, llevado a cabo el día Martes 05 de Febrero de 2013, a horas 11:30 a.m. Siendo los miembros del jurado calificador los abajo firmantes:



ING. JORGE AUGUSTO TORRES LUPERDI
Presidente



ING. ELMER TREVEJO CHAVEZ Msc.
Miembro



ING. JUAN ALBERTO FLORES GARZATÚA
Miembro



DR. CARLOS ANTONIO LI LOO KUNG
Miembro Suplente

Dedicatoria

A Dios y a mis queridos padres, Víctor y Gloria Marina, por acompañarme en mi vida y mis sueños siempre; quienes cada día vierte en mí ser palabras de estímulo que me fortalecen para seguir avanzando.

A mi esposa Rocío, por su paciencia y dedicación, al darme fortaleza para crecer como persona y como profesional.

A mí Querido y Adorado Hijo Mathías Salvador, que es mi regalo divino máspreciado que tengo por ser mi estímulo de cada día.

Agradecimientos

A las personas que me apoyaron en los momentos precisos para crecer como profesional: Marden Arturo Paredes y Wiston Gaviria.

A los docentes que con sus enseñanzas formaron en mi persona lo que hoy y mañana seré como profesional responsable y dedicado a mi trabajo.

INDICE

	Pág.
Índice.....	i
RESUMEN.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
I. ANTECEDENTES.....	5
II. OBJETIVOS.....	7
2.1. Objetivo General.....	7
2.2. Objetivos Específicos.....	7
III. REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA.....	8
3.1 AJÍ DULCE.....	8
3.1.1 Nombre Científico.....	8
3.1.2 Familia.....	8
3.1.3 Ciclo de vida.....	8
3.1.4 Origen.....	8
3.1.5 Conservación.....	8
3.1.6 Valor Nutricional.....	9
3.1.7 Zonas De Producción.....	9
3.1.8 Variedades.....	10
3.1.9 Siembra.....	10
3.1.10 Usos en la Alimentación.....	10
3.2 SECADO DE ALIMENTOS.....	11
3.2.1 Descripción del Proceso de Secado de Ají Dulce.....	12
3.2.2 Diagrama de Flujo.....	14
3.3 PROCESO DE SECADO.....	15
3.3.1 Descripción General del Proceso de Secado.....	15
3.3.2 Mecanismo de Secado.....	17
3.3.3 Ecuaciones de Secado.....	18

3.3.4 Humedad.....	19
3.3.5 Componentes de un Secadero.....	20
3.3.6 Curvas de Velocidad de Secado.....	21
3.4 TRANSMISION DE CALOR Y TRANSFERENCIA DE MASA.....	22
3.5 SISTEMA DE DESHIDRATACION.....	23
3.6 TIPOS DE SECADORES.....	24
3.6.1 Secadero de Bandeja o Armario.....	24
3.6.2 Secaderos de Túnel.....	27
3.6.3 Secado por Explosión.....	28
3.6.4 Secado por Atomización.....	29
3.6.5 Secado por Liofilización.....	30
3.6.6 Secadero de Horno.....	32
3.6.7 Secadero Rotatorio.....	32
3.6.8 Secaderos de Cinta o Correa.....	33
3.6.9 Secaderos de Lecho Fluidizado.....	34
3.7 EXPERIENCIAS DE UN TRABAJO DE INVESTIGACION UTILIZANDO COMO MATERIA PRIMA AJI DULCE.....	37
3.7.1 Materia Prima.....	37
3.7.2 Materiales de Laboratorio.....	38
3.7.3 Equipo de Laboratorio.....	38
- Laboratorio.....	38
- Planta.....	38
3.7.4 Controles Antes del Procesamiento.....	39
- Análisis Microbiológico... ..	39
- Análisis Fisicoquímico.....	39
3.7.5 Determinaciones Experimentales durante el Proceso.....	40
- Determinación experimental de la velocidad de secado.....	40
- Conversión de los datos a curva de velocidad	

de secado.....	40
- Grafica de la curva de velocidad de secado.....	41
- Método de curva de Secado.....	43
- Método de curva de velocidad de secado para el periodo de velocidad constante.....	43
- Método para calcular el secado para el periodo de velocidad decreciente.....	44
3.7.6 Controles en el Producto Terminado.....	45
- Análisis Microbiológicos.....	45
- Análisis Fisicoquímicos.....	45
3.7.7 Tipo y Diseño de la Investigación.....	45
- Evaluación Sensorial.....	45
- Fase 1. Selección de Panel.....	46
- Fase 2. Entrenamiento del Panel.....	46
- Fase 3. Pruebas Sensoriales al producto final.....	47
- Diseño Experimental.....	48
- Fase 1.....	48
- Fase 2.....	48
3.7.8 Balances de Materia y Calor.....	49
- Secaderos Discontinuos.....	49
- Secaderos Discontinuos con circulación de aire a través del lecho.....	52
- Secaderos Continuos.....	57
IV.CONCLUSIONES.....	59
V.RECOMENDACIONES.....	61
VI.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
Anexos.....	64
Glosario de Términos.....	70

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 01. Composición química del Ají dulce 100gr de pulpa.....	9
Tabla N° 02. Alimentos y productos agrícolas y tipos de secadores más adecuados.....	12
Tabla N°03. La cantidad de agua que en teoría puede absorber el aire.....	16

LISTA DE FIGURAS

Fig. 01. Perfiles típicos de humedad y temperatura en el secado de un alimento.....	17
Fig.02. Configuración básica de un secadero atmosférico de aire.....	20
Fig.03. Representación de los periodos de secado a velocidad constante y decreciente.....	22
Fig.04. Esquema de un secadero de bandejas o de armario..	26
Fig. 05. Secadero de armario con sistema de vacío.....	26
Fig. 06. Esquema de un secadero de túnel en corrientes paralelas.....	28
Fig. 07. Secadero de túnel en contracorriente.....	28
Fig. 08. Esquema de un sistema de secado por atomización.....	30
Fig. 09. Esquema de un sistema de secado por liofilización.....	31
Fig. 10. Configuración típica de un Secadero de Horno...	32
Fig. 11. Secadero rotatorio y voladizos.....	33
Fig. 12. Secadero de cinta con flujo a través del producto...	34
Fig. 13. Secadero de cinta mixto con equicorriente y contracorriente.....	34
Fig. 14. Secador de lecho fluidizado.....	35
Fig. 15. Gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo.....	42
Fig. 16. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.....	42
Fig. 17. Variables en los balances de calor y materia en un secadero de bandeja.....	49
Fig. 18. Secado por circulación del aire a través del lecho.....	54

RESUMEN

Una de las variables de proceso más importantes, en el secado, es la temperatura; influyendo no solo en el tiempo de secado sino que también en las reacciones de degradación de los componentes del alimento. En este trabajo monográfico se analizaron las condiciones de secado para el ají dulce.

Un mismo lote de ajíes, cortados simétricamente, se secaron por aire caliente a tres temperaturas (60°C). Los resultados obtenidos indicaron que las temperaturas de secado de 60°C permitieron obtener polvo mientras que a 50 °C no se logró por ser una temperatura muy baja de secado para este producto. Las muestras de ají tuvieron una pérdida de humedad de 90 y 91% a 60°C, respectivamente, ambos tratamientos presentaron valores bajos de actividad de agua de 0,3599 a 60 °C y de 0,3484 a 70 °C. Se compararon las variables físico-químicas (a_w , pH, color, granulometría) para los tratamientos en estudio, donde se observó diferencia significativa entre ellos ($p \leq 0,05$) obteniéndose valores más bajos a 70 °C.

En relación al color, ambos polvos presentaron variación en comparación con el ají fresco, dando como resultado productos de colores rojo oscuro y opacos. En cuanto a la granulometría, los polvos no presentaron uniformidad entre sus partículas, debido a que se obtuvieron partículas de diferentes diámetros. Se aplicaron pruebas sensoriales para los atributos de color, olor y sabor a los polvos de los dos tratamientos, donde los panelistas detectaron diferencias entre ellos, resultando mejor el polvo obtenido a 60 °C.

El producto final, a proponer como resultado del secado utilizando el secador de lechos fluidizados es Producto Rehidratado en trozos a partir del ají dulce.

INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria tiene como objetivo principal el prolongar la vida útil de los productos elaborados. De esta forma, se llevan a cabo procesos y operaciones unitarias en la que los alimentos son transformados a su forma de comercialización intermedia o final. Los productos deshidratados, ofrecen variadas ventajas sobre los productos frescos, por ejemplo, reducción de masa, volumen y aumento de la vida útil. Al tener una actividad de agua mucho más baja que el producto fresco, se reduce el desarrollo de microorganismos y la actividad enzimática (González, 2008).

Durante el secado de las frutas y hortalizas se produce una serie de cambios en sus componentes originales, los cuales afectan en la calidad del producto final. Una de las variables más importantes, en el secado por aire caliente, es la temperatura, influyendo no sólo en el tiempo de secado sino en las reacciones degradativas que afectan las propiedades organolépticas y el valor nutricional de los mismos. Con tiempos de secado prolongados se obtienen productos de baja calidad por caramelización de azúcares, reacciones de Maillard, reacciones enzimáticas, degradación de pigmentos y oxidaciones de ácidos (Potter, 1999).

El sabor, color, textura, aroma y propiedades de rehidratación, son los atributos de calidad más importantes en los alimentos deshidratados. La selección de las condiciones de secado apropiadas son necesarias para minimizar el choque térmico, eliminar el resecado y mantener los componentes que determinan la calidad del producto final (Barbosa, 2000).

La producción de ají dulce se le considera un elemento casi esencial en la elaboración de las comidas, por su sabor particular y contenido de vitaminas B1, B2 y C; su rendimiento se estima en 8000 Kg/ha . El ají dulce es una hortaliza de amplio uso en el arte culinario, debido a su fragancia y sabor típico lo hacen más preferido que el pimentón en la preparación casera de guisos, salsas y sopas. Además, se usa en la preparación de salsas envasadas y potencialmente es un producto que se puede deshidratar y moler para aprovecharse como condimento. Sin embargo no disponemos del ají dulce en todas las épocas del año por lo que tendremos que disponer de la deshidratación para conservarlo en las mejores condiciones posibles y poder utilizarlos en aquellas épocas en que no haya tanta abundancia (González, 2008).

En la actualidad el que más se cultiva en el mundo es *Capsicum annuum* L. El *Capsicum annuum* de la variedad *annuum*. *Capsicum sp. var Regional* (ají dulce) es de gran importancia, donde se considera un elemento casi esencial en la elaboración de las comidas, por su sabor particular y contenidos nutraceuticos (Villachica, 1996).

Es una hortaliza de amplio uso en el arte culinario, debido a su fragancia y sabor típico en la preparación casera de guisos, salsas y sopas. La utilización sostenible de esta diversidad genética y la oferta natural del ecosistema amazónico, constituye una garantía rentable en la medida que exista una tecnología apropiada para su aprovechamiento (González, 2008).

El secado o desecación, es uno de los procesos más antiguos de preservación de alimentos. En los alimentos deshidratados, debido a la mínima cantidad de agua, los microorganismos no pueden proliferar y quedan detenidas la mayoría de las reacciones químicas y enzimáticas de alteración. Los métodos modernos de deshidratación, buscan otros fines que la simple preservación: en alimentos, la reducción de peso y algunas veces de volumen, la comodidad del empleo también es una característica muy buscada (ITESM -2009).

Cada producto tiene un óptimo procedimiento de secado en función de su estado, condiciones en que puede tratarse, proceso de fabricación, temperaturas y humedades de equilibrio admisibles, humedad inicial y final, etc. (Brennan, 1990).

El procesamiento en lechos fluidizados implica el secado, enfriamiento, aglomeración, granulación y revestimiento de los materiales en gránulos. Es ideal para una amplia gama de productos sensibles y no sensibles al calor. El procesamiento uniforme se logra haciendo pasar un gas a una velocidad controlada a través de una capa del producto para crear un estado fluidizado (Brennan, 1990).

La disminución de la humedad de los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados para su conservación. Al reducir el contenido de agua de un alimento hasta un nivel muy bajo se eliminan las velocidades de otros mecanismos de deterioro. Además del efecto conservante, mediante la deshidratación se reducen el peso y el volumen del alimento, aumentando la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje. Además, la deshidratación de un alimento produce a menudo otro más apto para el consumo (Singh, 2009).

La conservación de frutas y hortalizas mediante su deshidratación supone un importante desafío, pues debido a la estructura de estos productos la eliminación del agua debe hacerse de modo que el perjuicio sobre su calidad sea el mínimo. Esto exige que el producto seco pueda rehidratarse hasta un producto prácticamente de la misma calidad que el original. Para obtener estos resultados con frutas y verduras deshidratadas los procesos de transferencia de materia y de calor deben ser optimizados, por lo que para el diseño del proceso es necesario un cuidadoso análisis del efecto de estos fenómenos de transporte en la estructura del alimento. Solo mediante un buen conocimiento y análisis de estos procesos podrá obtenerse un alimento de óptima calidad (Singh, 2009).

En consecuencia en el presente trabajo de Monografía Descriptiva, se intentará recopilar información que contribuya en la búsqueda de la propuesta técnica de secado de ají dulce en un secador de lecho fluidizado.

I. ANTECEDENTES

El flujo ideal para el secado de ají dulce es: materia prima, pesado, lavado y selección, cortado, desemillado, escaldado, enfriamiento, escurrido, secado, enfriado y empaquetamiento, almacenaje.

El escaldado óptimo se realiza cuando los trozos del ají dulce se sumergen en agua más azúcar (15%) hirviendo por 1-2 minutos.

Los resultados del análisis de varianza para la actividad de agua (a_w) en las muestras de ajíes deshidratadas por aire forzado a 60 y 70° C, mostró diferencias significativa entre los tratamientos ($p \leq 0,05$), lo que refleja el efecto de la temperatura sobre las muestras de ajíes procesadas en función del tiempo (González, 2008).

Culminado el proceso de deshidratación de 13 horas a 60°C y de 10 horas a 70°C las muestras de ajíes presentaron una a_w de 0,3599 y 0,3484, respectivamente. A esta a_w , las muestras de ajíes se consideran un producto de baja humedad, donde no hay crecimiento bacteriano y el pardeamiento enzimático es disminuido. Hicieron varios análisis como fisicoquímicos pérdida de humedad, actividad de agua, dando como resultado el mejor polvo obtenido a 60°C (González, 2008).

Es importante resaltar que para el tratamiento correspondiente a 50°C y 16 horas no se obtuvo polvo de ají debido a que las muestras no lograron un secado suficiente, es decir, permanecieron húmedas ya que requerían de tiempos muy prolongados para su secado. (González, 2008).

Fue Winkler quien en 1926 dio inicio a lo que actualmente llamamos lecho fluidizado. Todo comenzó mientras estudiaba el proceso de

gasificación de carbón, el cual consistía en hacer pasar pequeñas partículas de carbón a una corriente vertical (ascendente) de gases a una determinada velocidad que provocaba que las partículas se quedaran suspendidas. Esta técnica resulto muy eficiente y comenzó a utilizarse en la minería (www.bepex.mx).

La tecnología de los lechos fluidizados en su aplicación al ámbito productivo en gran escala data, aproximadamente, de 1940, utilizada en el "cracking" catalítico de cortes pesados de petróleo a fracciones más livianas de mayor valor agregado. El primer equipo de estas características, para la producción de gasolina de aviación de alto octanaje, se remonta a 1942 (www.bepex.mx).

A partir de esta instancia, los lechos fluidizados han constituido una alternativa muy utilizada para procesos que requieran promover el contacto gas-sólido. En los últimos veinte años se observó un creciente interés en estos sistemas, especialmente con relación a su comportamiento térmico para su aplicación en procesos químicos altamente exotérmicos o para generación de energía (www.bepex.mx).

En base a esto, se propone el secado de ají dulce utilizando el secador de lecho fluidizado a Temperatura de 60°C x 13 horas, otorgando así una vida útil no menor de 24 meses; ya que a esta temperatura la materia prima mantiene las características organolépticas y nutricionales.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer la técnica adecuada para el secado de ají dulce utilizando el secador de lecho fluidizado.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desarrollar el proceso de secado en lecho fluidizado del ají dulce.
- Determinar parámetros técnicos para el mayor valor agregado al producto ají dulce, (*Capsicum sp. var regional*) y el tiempo de vida útil.
- Mantener los atributos de calidad del ají dulce (*Capsicum sp. var regional*) como sabor, olor, color, textura y propiedades de rehidratación.
- Determinar la temperatura y el tiempo de secado del ají dulce para conservar sus características organolépticas y nutricionales.
- Establecer los tipos de empaques adecuados para el producto final.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 AJI DULCE

3.1.1 Nombre Científico: Capsicum sp. Variedad Regional

3.1.2 Familia : Solonaceae

3.1.3 Ciclo de vida : Bianual

3.1.4 Origen

El origen del ají dulce variedad "criollo" no se conoce; pero sin embargo, se cree que tiene su origen en el ají pimiento que en un tiempo atrás se introdujo en la región amazónica y que por adaptación ha tomado la forma que ahora posee, y su resistencia al medio (Babilonia, 1994).

3.1.5 Conservación

Aparte del consumo en fresco, cocido, o como un condimento o "especia" en comidas típicas de diversos países, existe una gran gama de productos industriales que se usan en la alimentación humana: congelados, deshidratados, encurtidos, enlatados, pastas y salsas (Babilonia, 1994).

- Para consumo en fresco (generalmente fritos o asados, tanto los verdes como los rojos).
- Para pimiento desecado (suelen ser rojos y muy picantes: guindillas o chilis, incorporándose a diversos platos enteros o molidos = pimentón o pimienta roja).
- Para encurtidos (en ácido acético).

3.1.6 Valor Nutricional

Los ajíes son una fuente importante de nutrientes. Contienen betacaroteno precursor de la vitamina A, complejo B, vitamina C, hierro, potasio y magnesio.

Tabla N° 01. Composición química del Ají dulce 100gr de pulpa.

Componentes	100 g (mg) de Pulpa	Componentes	100 g (mg) de Pulpa
Agua	94%	Fósforo	26
Hidratos de Carbono	3.70%	Potasio	186
Proteína	0.90%	Ácido ascórbico (Vit, C)	131
Lípidos	0.20%	Tiamina	0.05
Sodio	0.5	Riboflavina	0.04
Hierro	0.5	Ácido Fólico (vit. B3)	11
Calcio	12	Retinol (vit A)	94

Fuente: Villachica, 1996.

3.1.7 Zonas De Producción

El cultivo de ají dulce esta difundido a través de toda la región amazónica, los habitantes de los caseríos lo conocen y lo siembran para consumo familiar

Los agricultores que se dedican al cultivo de hortalizas tropicales lo cultivan en regular escala, aprovechando la vaciante de los ríos amazónicos, por eso es que en determinadas épocas del año su producción es abundante (Babilonia, 1994).

3.1.8 Variedades

Generalizando se puede decir que existe una sola variedad, ya que no se tiene variedades definidas porque de una misma planta salen diversas formas de frutos que morfológicamente se puede hacer alguna clasificación, como son: alargados, redondos y aplanados, pero todos poseen hendiduras (Babilonia, 1994).

3.1.9 Siembra

Esta hortaliza que se puede sembrar durante todo el año, no existiendo una época apropiada porque en los trópicos húmedos no existen estaciones definidas.

El ají dulce es una hortaliza de semillero, utilizándose 2 gr. Por m^2 , las semillas germinan a los cinco o seis días después de la siembra, permaneciendo en ella hasta los veinticinco días. El trasplante se realiza después de los 25 días de la siembra del semillero y debe hacerse de preferencia por las tardes por ser una planta que no necesita tinguado; los riegos deben ser frecuentes y abundantes hasta que la planta prenda, por lo menos unos diez días después del trasplante (Babilonia, 1994).

3.1.10 Usos en la Alimentación

Los ajíes son las especias más usadas en la cocina mundial como ingrediente para sazonar comidas. Se utilizan en forma fresca y procesada ya sea deshidratado o seco, ahumado, entero, picado, congelado, enlatado, encurtido, en salsas, etc.

Para preparar los ajíes se debe de cortar el tallo, partirlo el ají en dos a lo largo y retirar las semillas y las venas si se desea eliminar el picante (Motte, 2010).

Para guardarlos se deben de refrigerar, sin lavar, entre dos hojas de papel toalla o en una bolsa de papel o plástico.

Para congelarlos se deben de abrir en dos, retirar las semillas y guardarlos, enteros o picados, en bolsas plásticas selladas en el congelador (Motte, 2010).

3.2 SECADO DE ALIMENTOS.

El secado de los alimentos es el método más antiguo de conservación de los productos perecederos. La utilización del sol para reducir el contenido de agua de un producto, es el procedimiento más ancestral y menos costos de conservación.

Diversos autores indican que en el paleolítico hace 400000 años, se secaban al sol, alimentos, carnes y pescados especialmente. Hoy todavía se utiliza para el secado de frutas: higos (higos secos), uvas (pasas), etc.

La industria agroalimentaria utiliza la deshidratación como método de conservación de un gran número de productos, si entrar en una relación exhaustiva debido a la evolución rápida y permanente de las posibles aplicaciones, se pueden citar. Productos lácteos y derivados (leche en polvo instantánea, semi- productos para helados y postres), productos derivados de los cereales y entre otros. Con la deshidratación un producto consigue un incremento de las posibilidades de conservación y una gran reducción de peso, hasta su quinta parte cuando se trata de raíces y tubérculos.

TABLA N°02, Alimentos y productos agrícolas y tipos de secadores más adecuados.

PRODUCTO	TIPO DE SECADORES
Hortalizas, frutas, confitería	Bandejas y túnel
Forraje, granos, hortalizas, frutas, nueces, cereales de desayuno.	Cinta
Forrajes, granos, manzana, lactosa, estiércol de aves, almidón.	Rotativos
Café, leche, te, puré de frutas.	Atomización
Leche, almidón, alimentos infantiles predigeridos, sopas.	Tambor
Almidón, pulpa de frutas, residuos de destilería.	Neumático.
Café, esencias, extracto de carne, frutas, hortalizas.	Congelación y vacío.
Hortalizas	Lecho fluidizado
Manzanas y algunas hortalizas	Horno

Fuente: AECI (1998).

3.2.1 Descripción Del Proceso De Secado De Ají Dulce

- a) Lavado y Selección: se utilizarán ají dulce sanos, maduros y de consistencia firme, que serán lavados en agua potable.
- b) Cortado: La primera operación que se realiza es la eliminación del pedúnculo, para luego cortarlos longitudinalmente en 8 partes
- c) Desemillado: Durante el proceso de cortado las semillas y el agua se liberan fácilmente. Las semillas se pueden separar con la ayuda de un colador y se pueden secar por separado.

d) Escaldado: Los trozos del ají dulce se sumergen en agua más azúcar (15%) hirviendo por 1-2 minutos a 70°C. La presencia del azúcar es para mantener la estabilidad osmótica, del nivel de azúcar presente en el ají dulce.

e) Enfriamiento: Inmediatamente los trozos se sumergen en agua fría o al medio ambiente para evitar el exceso de ablandamiento y luego se escurren. Para mantener el color característico del Ají dulce y evitar la aparición de colores indeseables durante el secado, los trozos se sumergen en una solución de bisulfito de sodio preparada con 1g de bisulfito por litro de agua. Esta inmersión se debe mantener por lo menos 15 minutos.

g) Oreado: Los trozos se escurren y se disponen en las bandejas que tengan mallas plásticas o de acero inoxidable. Se debe evitar amontonar los trozos y deberán estar dispuestos en una sola capa.

h) Secado: Se utilizará el secador de lecho fluidizado, los controles del proceso, son Temperaturas, Presión, Humedad Relativa. Se debe evitar los excesos de calor.

Se utiliza secadores por aire caliente a una temperatura de aire de 60°C y una velocidad del viento de 3-5 m/s El secado termina cuando los trozos de ají dulce están quebradizos cuya humedad es de (5-7%).

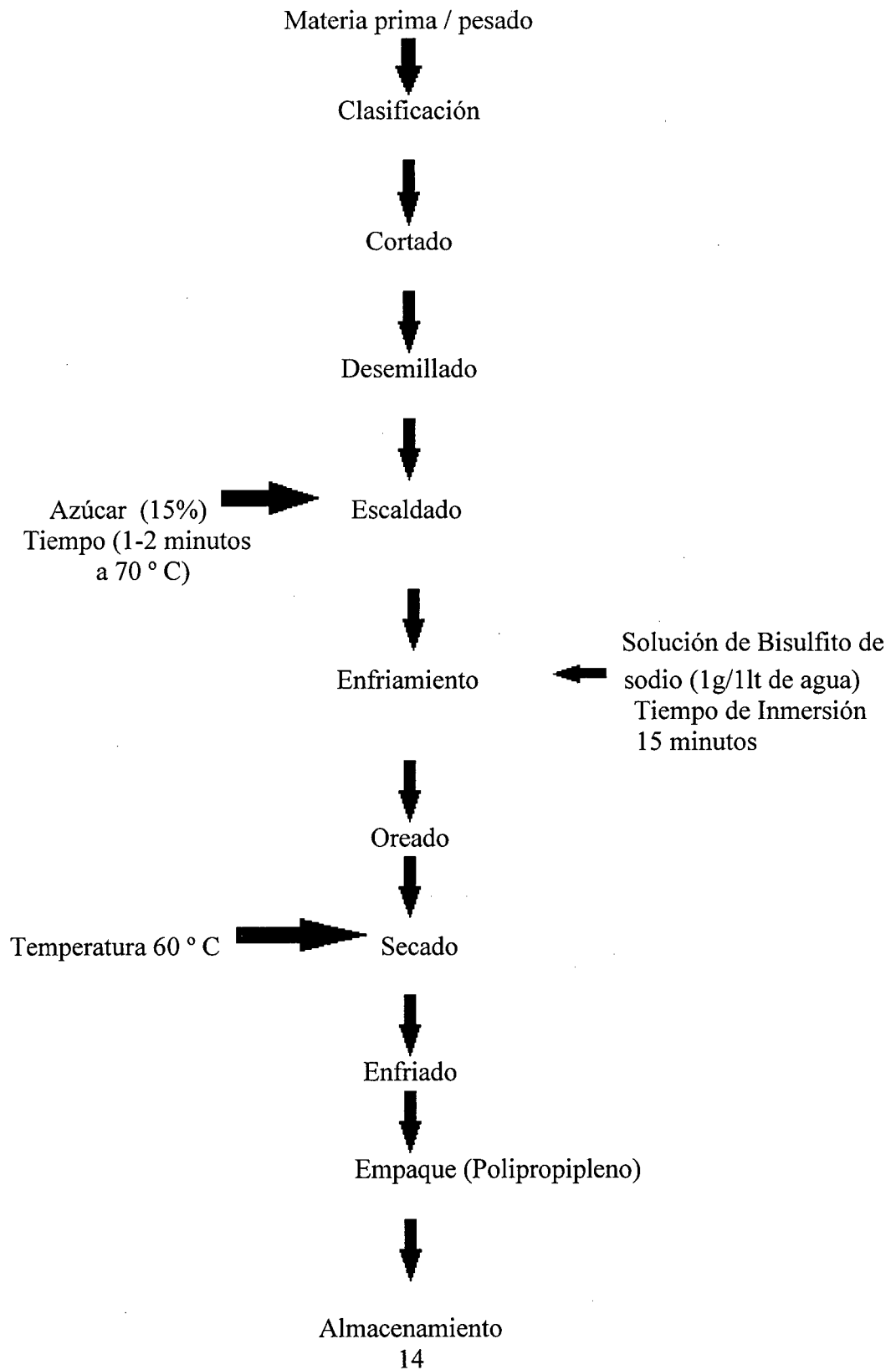
i) Enfriado: Generalmente los trozos secos están por encima de la temperatura del medio ambiente por lo tanto se debe dejar que se enfríe hasta esa temperatura.

j) Empaque: para luego empacar en recipientes generalmente de plástico que no deje pasar la humedad (polipropileno) y/o en envases laminados metálicos.

k) Almacenamiento: Se deben almacenar en un ambiente fresco y seco y protegido de la luz.

3.2.2 Diagrama De Flujo

DIAGRAMA DE FLUJO



3.3 PROCESO DE SECADO.

3.3.1 Descripción General Del Proceso De Secado.

El secado se describe como un proceso de eliminación de sustancias volátiles (humedad) para producir un producto sólido y seco. La humedad se presenta como una solución líquida dentro del sólido es decir, en la micro estructura del mismo. Cuando un sólido húmedo es sometido a secado térmico, dos procesos ocurrirán simultáneamente (Cabrera, 2004).

1. Habrá transferencia de energía (comúnmente como calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie (Proceso 1).
2. Habrá transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido (Proceso 2).
3. La velocidad a la cual el secado es realizado está determinada por la velocidad a la cual dos procesos, mencionados anteriormente, se llevan a cabo. La transferencia de energía, en forma de calor, de los alrededores hacia el sólido húmedo puede ocurrir como resultado de convección, conducción y/o radiación y en algunos casos se puede presentar una combinación de estos efectos.

TABLA N°03: La cantidad de agua que, en teoría, puede absorber el aire.

Temperatura °C	HR	Gramos de agua que pueden ser retirados por kg. De aire seco.
29	90	0.6
30	50	7
40	28	14.5
50	15	24

Fuente: AECI (1998).

En la tabla N° 03 puede apreciarse como, a mayor temperatura, más capacidad del aire de absorber agua. Cuanto mayor sea el flujo de aire, más rápidamente se eliminara el agua del producto que está secando.

Sin embargo, en la práctica nunca se alcanza estos niveles. Existen muchas razones para ello: la eficiencia con la que el aire se mezcla con el producto, la naturaleza del producto y otras. En condiciones normales, el aire puede retirar un 30 a 50% de esta cantidad teórica. Esta capacidad se conoce como "factor de arrastre" AECI (1998).

En general, el fenómeno de la deshidratación depende de las características de transferencia de materia y energía, tanto del aire de secado del alimento. La deshidratación en un secadero atmosférico se puede resumir en términos de dos fenómenos: calentamiento del producto y reducción del contenido de humedad, ambos en función del tiempo. En la figura 01 se presentan los perfiles de temperatura y humedad en función del tiempo de secado.

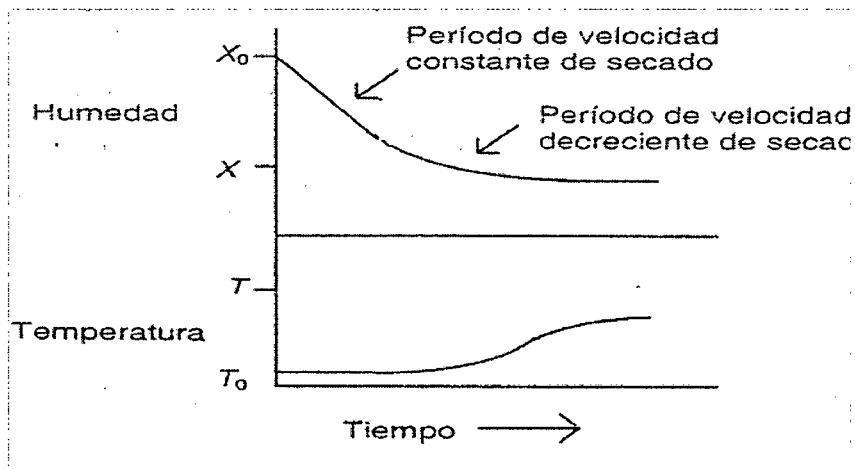


Fig. 01. Perfiles típicos de humedad y temperatura en el secado de un alimento.

Fuente: (Cook, 1991).

En cierto tipo de secaderos el alimento se expone directamente a una corriente de aire caliente por encima del producto y elimina el vapor de agua. Sin embargo, la naturaleza de ciertos productos no permite la exposición directa al aire caliente y en el calentamiento de utilizan intercambiadores de calor que evitan el contacto directo entre el producto y el medio de calentamiento. Al primer tipo de secaderos se le conoce como secaderos directos y al segundo secadero indirecto (Cook, 1991).

3.3.2 Mecanismo de secado.

Hay dos métodos para remover la humedad:

1. Evaporación. Esta ocurre cuando la presión del vapor de la humedad en la superficie del sólido es igual a la presión atmosférica. Esto se debe al aumento de temperatura hasta el

punto de ebullición. Si el material que está siendo secado es sensible al calor, entonces la temperatura a la cual la evaporación punto triple, entonces la fase líquida no puede existir y la humedad en el producto es congelada (Cabrera, 2004).

2. Vaporización. El secado es llevado a cabo por convección, pasando aire caliente sobre el producto y la humedad es transferida hacia el aire. En este caso la presión del vapor de la humedad sobre el sólido es menor que la presión atmosférica (Cabrera, 2004).

3.3.3 Ecuaciones de secado

Un contenido de humedad reducido X_r , es comúnmente usado para la explicación de cinéticas de secado, y se define de la siguiente forma:

$$X_r = \frac{X - X_{eq}}{X_{cr} - X_{eq}} \quad (1)$$

En donde X_{cr} representa el contenido de humedad crítico y X_{eq} , que es dado por las isotermas de sorción a determinadas condiciones del aire. El contenido de valores máximos de rapidez de secado, es decir el punto el cual se presenta el primer periodo decreciente. Las curvas dX / dt como función del contenido de humedad son calculadas por estimación numérica de la derivada de X en cada medición de tiempo t . En el tiempo inicial de rapidez de secado es calculada como: (Ramírez, 2007).

$$V_o = \left[- \frac{dX}{dt} \right]_0 = \frac{X_o - X_1}{t_1 - t_o} \quad (2)$$

En el tiempo final t_n , la rapidez final V_n es calculada como:

$$V_n = \left[- \frac{dX}{dt} \right]_n = \frac{X_{n-1} - X_n}{t_n - t_{n-1}} \quad (3)$$

En cada tiempo t_i , i varia de 1 a $n - 1$, la rapidez es calculada como

$$V_i = \left[- \frac{dX}{dt} \right]_i = \frac{1}{2} \left[\frac{X_{i-1} - X_i}{t_i - t_{i-1}} + \frac{X_i - X_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \right] \quad (4)$$

Debido al "ruido" que se genera entre los puntos de medición experimentales, una "media centrada móvil" es utilizada a través de la Ec. (4), con lo cual se obtienen descripciones de curvas más clara. La curva de rapidez reducida consiste en representa para todos los puntos experimentales de un proceso sometido a condiciones de operación constantes, curvas de secado utilizando la siguiente expresión:

$$V_r = \left[- \frac{dX}{dt} \right]_r = \frac{V}{V_1} = F(X_r) \quad (5)$$

En donde V_1 representa la fase de secado con rapidez constante (cuando ésta es identificable), como función del contenido de humedad reducido X_r , en el caso contrario es la velocidad de la fase con la máxima rapidez (Ramírez, 2007).

3.3.4 Humedad.

La humedad de un sólido usualmente se expresa como el contenido de agua en Kg por unidad de peso de material seco o "mojado".

La humedad expresada en una base volumétrica se usa muy raramente. Es importante tener en cuenta cual base se está utilizando en cuestiones de diseño (Patiño, 2004).

$$X_{w, \text{seco}} = \text{peso humedad} / \text{peso total, seco} \quad (6)$$

$$X_{w, \text{Húmedo}} = \text{peso humedad} / \text{peso total, húmedo} \quad (7)$$

3.3.5 Componentes De Un Secadero:

Tal como lo muestra la Fig. 02, la configuración básica de un secadero consiste en un sistema que genere aire caliente; el cual puede estar compuesto de un ventilador y de una serie de hilo de resistencias eléctricas de Nicrom (Niquel, Cromo) para generar calor, también debe contar con un alimentador, un calentador y un colector. Sin embargo; para propósitos educacionales son comunes los secaderos sin alimentador ya que las cantidades de alimento a deshidratar son menores (Cook, 1991).

La disposicon final de estos componentes es característica de cada tipo de secadero. La figura muestra el esquema básico de un secador.

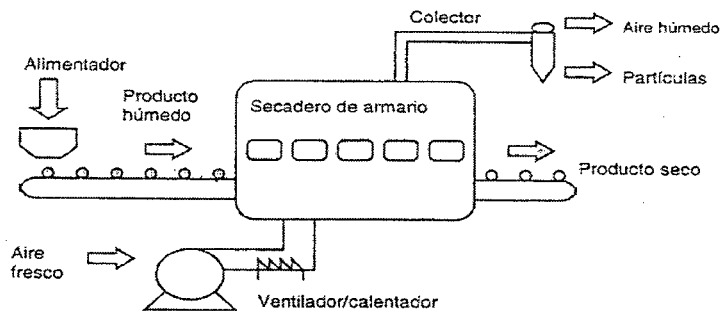


Fig. 02. Configuración básica de un secadero atmosférico de aire.

Fuente: (Cook, 1991).

- ❖ **Alimentador:** Los alimentos más comunes para sólidos húmedos son transportadoras de tornillo, mesas rotatorias bandejas vibratorias y cámaras rotatorias de aire. En algunos casos para secaderos grandes de lecho, se necesitan alimentadores especiales para asegurar un esparcido uniforme del material (Cook, 1991).

- ❖ **Calentador:** En calentadores directos de aire se calientan mezclándolo con gases de combustión. El coste de calentamiento directo es menor que el indirecto, pero algunos productos pueden quedar dañados por los gases. La máxima temperatura posible en un calentador directo está en el intervalo de 648 a 760°C, mientras que en un calentador indirecto es 425°C (Cook, 1991).

- ❖ **Colector:** La separación de productos pulverulentos o partículas de producto de la corriente de aire se puede conseguir utilizando ciclones, filtros de tela o depuradores humeados de gases (Cook, 1991).

3.3.6 Curvas De Velocidad De Secado

La eliminación de agua de un alimento se realizara normalmente en una serie de etapas diferenciadas entre sí por la velocidad de secado, como se muestra en la Fig. 03, la etapa inicial (AB) ocurre conforme el producto y el agua en el contenido se calientan ligeramente. Posteriormente se produce una reducción importante del contenido de agua a velocidad de secado constante (BC); esta etapa tiene lugar a temperatura constante, siendo esta la de bulbo húmedo del aire.

En la mayoría de los casos esta etapa de velocidad de secado constante finalizara al alcanzarse la humedad crítica; posteriormente existirán uno o varios periodos de le velocidad de secado decreciente (DC). La humedad crítica suele estar claramente identificada debido al cambio brusco de la pendiente de la curva de velocidad de secado (Singh, 2009).

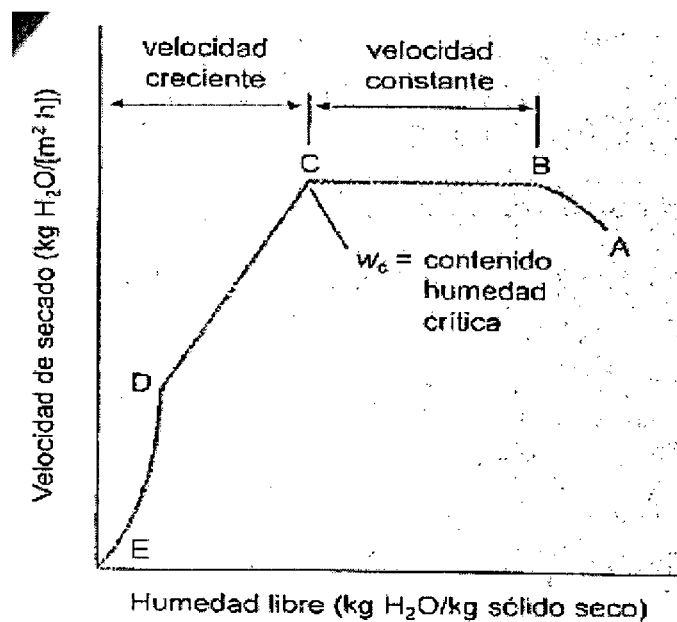


Fig. 03 Representación de los periodos de secado a velocidad constante y decreciente.
Fuente: (Singh, 2009).

3.4 TRANSMISION DE CALOR Y TRANSFERENCIA DE MASA

Como ya se ha indicado previamente, la eliminación de agua de un alimento supone el transporte simultáneo de materia y calor. La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionado con la gradiente de la temperatura existente entre la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor generado se

transportara desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de este. El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de este. Estos flujos de materia y calor en el interior del alimento tienen lugar a nivel molecular: el calor transmitido depende de la conductividad térmica del alimento mientras que el flujo de agua será proporcional a la difusión molecular del vapor de agua en el aire (Singh, 2009).

En la superficie del producto tienen lugar simultáneamente los transportes de materia y calor, controlados por mecanismos convectivos. El transporte de vapor desde la superficie del alimento al aire exterior es función de la presión de vapor mientras que la transmisión de calor desde el aire hacia el alimento depende del gradiente de temperatura (Singh, 2009).

3.5 SISTEMAS DE DESHIDRATACION

En función de la influencia de la transferencia de materia y de la transmisión de calor, el sistema de deshidratación más eficaz será aquel que mantenga los máximos valores posibles de los gradientes de presión de vapor y de temperatura en el aire y el interior del producto a deshidratar. Esas condiciones junto con altos valores de los coeficientes de convección en la superficie del producto pueden mantenerse en varios diseños diferentes; a continuación se van a describir varios sistemas utilizados en deshidratación de alimentos (Singh, 2009).

3.6 TIPOS DE SECADORES

3.6.1 Secadero de Bandeja o Armario

Normalmente funciona en régimen intermitente. Está formado por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas, montadas unas sobre otras con una separación conveniente que se cargan con el material a secar (Cook, 1991).

Se hace circular aire caliente entre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor haciéndole pasar previamente por el calentador constituido por un haz de tubos por cuyo interior circula normalmente vapor de agua. Los tabiques distribuyen uniformemente el aire sobre las pilas de bandeja (Cook, 1991).

Por medio del conducto de salida se evacua continuamente aire húmedo y a través de la abertura de entrada penetra aire fresco. Al final del ciclo de secado, normalmente largo, se saca de la cámara al conjunto de los bastidores para proceder a la descarga del producto seco y a una nueva carga (Cook, 1991).

Cuando las características del material y su manejo lo permiten, se utilizan bandejas perforadoras en las que el aire circula a través de la capa de sólidos, con lo que se consigue aumentar la superficie de sólido expuesta a la acción del aire y disminuyendo consiguientemente la duración del ciclo de secado (Cook, 1991).

El secado de este equipo puede ser:

- ❖ De flujo horizontal, si el aire circula paralelamente al lecho a secar.
- ❖ De flujo transversal, si el aire circula perpendicularmente al lecho a secar.

Los rendimientos térmicos de este tipo de secador suelen estar comprendidos entre el 20 y el 50 %, pudiendo ser más bajos.

Los secaderos de bandeja son útiles para secar pequeñas cargas de productos valiosos. En general se aplican cuando la capacidad necesaria no excede de 25 a 50 Kg/h de producto seco (Cook, 1991).

En ellos se puede secar prácticamente cualquier material, pero a causa de la mano de obra requerida para la carga y descarga, su operación resulta costosa para su baja capacidad de producción. Sin embargo, su polivalencia y la buena calidad comercial de los productos obtenidos los hace utilizables en la deshidratación de productos agrícolas tales como, espinacas, ajo, perejil, guisantes, judías verdes, champiñones, cebollas, etc. Los secaderos de bandejas pueden funcionar en régimen semicontinuo (Cook, 1991).

En este tipo de secadero el producto a secar se dispone en bandejas u otros accesorios similares exponiéndolo a una corriente de aire producto a secar se sitúan en el interior de un armario o similar en la Fig. 04 donde este se seca al estar expuesto al aire caliente. El aire circula por la superficie del producto a relativamente a alta velocidad para aumentar la eficacia de la transmisión de calor y de la transferencia de materia (Singh, 2009).

Una ligera modificación, utilizada a menudo, consiste en la incorporación de vacío en la cámara de secado Fig. 05. Este vacío mantiene lo más baja posible la presión de vapor alrededor del producto a secar; además también se reduce la temperatura en la que la humedad del producto se evapora, lo que produce una mejora en la calidad del producto (Singh, 2009).

En la mayoría de los casos los secadores de bandejas operan por cargas y tienen la desventaja de no secar el producto uniformemente, dependiendo de su posición en el secadero. Por ello, suele ser necesario girar las bandejas durante el proceso para lograr un secado uniforme (Singh, 2009).

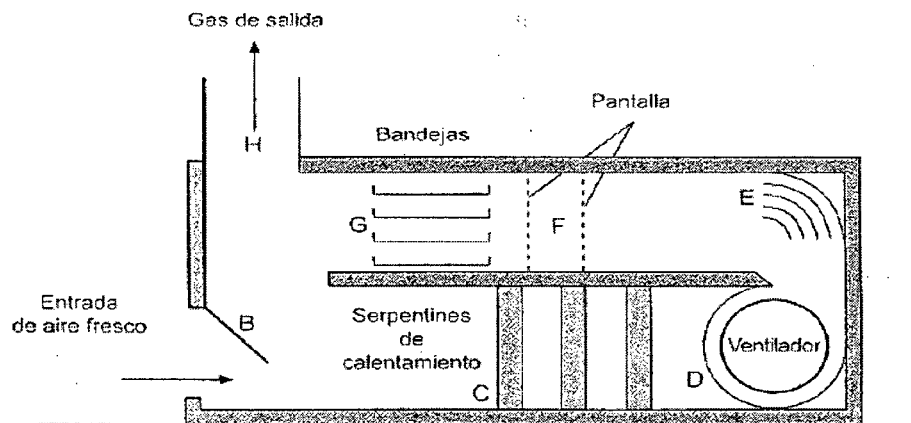


Fig. 04. Esquema de un secadero de bandejas o de armario.

Fuente: (Singh, 2009).

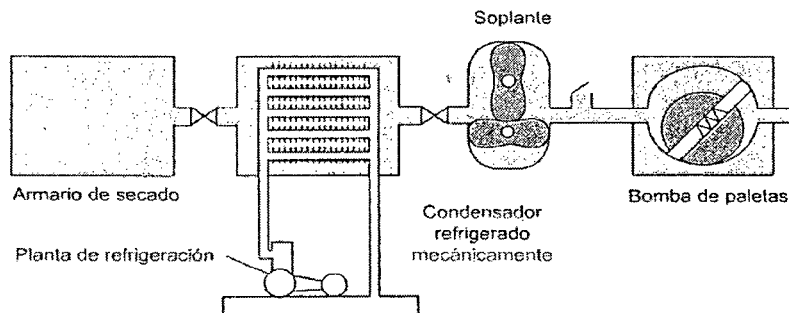


Fig. 05. Secadero de armario con sistema de vacío.

Fuente: (Singh, 2009).

3.6.2 Secaderos de Túnel

Las Fig. 06 y 07 muestran sendos esquemas de secadores de túnel. El aire caliente se introduce por un extremo del túnel y circula a una velocidad predeterminada a través de las bandejas con producto, que son transportadas mediante carretillas. Esas carretillas circulan por el túnel a una velocidad determinada para que el tiempo de residencia del producto en este sea el necesario para lograr el secado deseado. Los flujos de producto a secar y de aire secante pueden circular en corrientes paralelas Fig. 06 o en contracorriente Fig. 07. El tipo de flujo elegido en cada caso dependerá de las características del producto y de su sensibilidad a la temperatura (Singh, 2009).

En los sistemas de corrientes paralelas el producto muy húmedo se expone al aire muy caliente ayudando la alta evaporación a mantener baja la temperatura en el producto. Cerca de la salida del túnel el producto con baja humedad está expuesto al aire a menor temperatura. En los sistemas en contracorriente el producto menos húmedo se encuentra expuesto al aire más caliente y el gradiente de temperatura disminuye conforme nos acercamos a la entrada del producto del túnel. A pesar de la eficacia de los sistemas en contracorriente suele ser mayor, si se tiene en cuenta la calidad del producto, a menudo no se pueden utilizar estos sistemas. Siempre que se puede se utiliza la recirculación de secado para ahorrar energía (Singh, 2009).

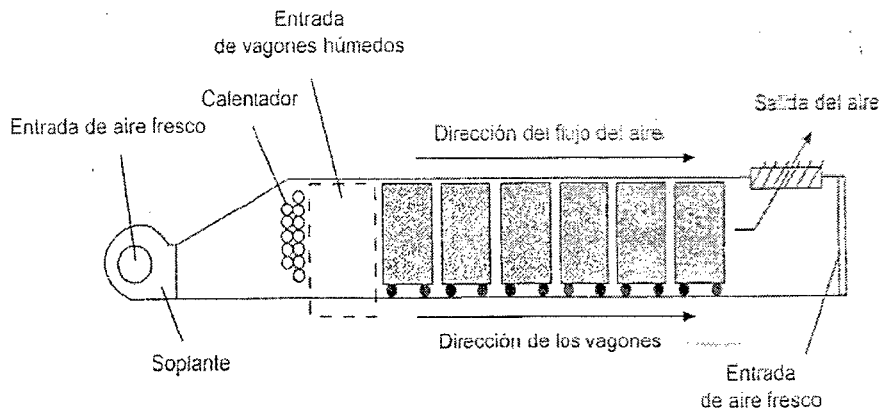


Fig. 06. Esquema de un secadero de túnel en corrientes paralelas.

Fuente: (Singh, 2009).

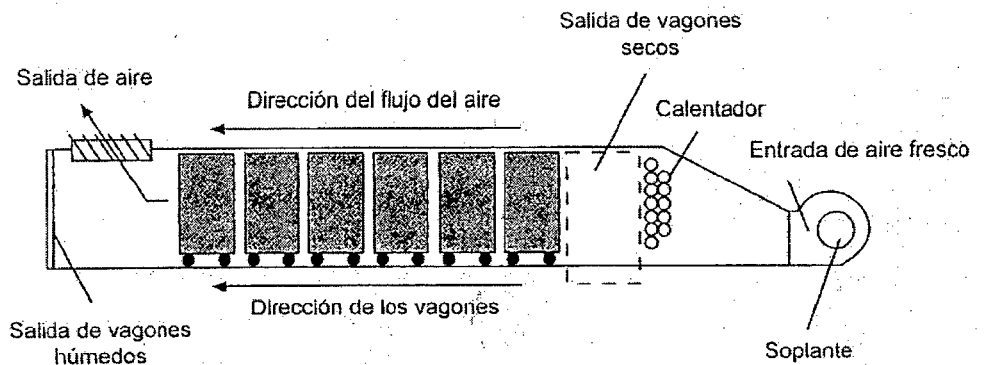


Fig. 07. Secadero de túnel en contracorriente.

Fuente: (Singh, 2009).

3.6.3 Secado por Explosión

Un proceso relativamente reciente, aplicado con éxito en el secado de algunas frutas y verduras, es el secado por explosión. Consiste en la exposición de trozos pequeños de productos a altas temperaturas y presiones durante un corto intervalo de tiempo; a continuación el producto se traslada a un ambiente a presión atmosférica, produciéndose una evaporación "flash" del agua con la consiguiente migración desde la parte interior del producto. Los productos secados mediante este procedimiento tienen una porosidad muy alta y permiten una rápida rehidratación. Este procedimiento es

particularmente eficaz en el secado de producto cuyo periodo de velocidad decreciente es el más importante, pues la evaporación rápida y el consiguiente aumento de la porosidad del producto contribuyen a una más rápida eliminación de la humedad al final del proceso de secado (Singh, 2009).

El secado por explosión se desarrolla más eficazmente si las partículas son aproximadamente cubos de tres cuartos de pulgada; estas partículas se secarían rápidamente y se rehidratarían en unos 15 minutos. A pesar de que este procedimiento puede no ser aplicable a todo tipo de alimentos, es interesante continuar investigando dada la superior calidad lograda en los alimentos (Singh, 2009).

3.6.4 Secado por Atomización

El secado de alimentos líquidos se realiza a menudo en secadores de pulverización. La eliminación del agua de un alimento líquido tiene lugar cuando el líquido se atomiza en el seno del aire caliente en la cámara de secado. Aunque se utilizan diversas configuraciones de la cámara de secado, la distribución básica es la mostrada en la Fig. 08, en la que se muestran cómo se introducen las gotas de líquido en la corriente de aire caliente (Singh, 2009).

Mientras las gotas de líquido son transportadas en la corriente de aire caliente, el agua se evapora y es arrastrada por el aire. La mayor parte del secado tiene lugar durante el periodo de velocidad constante y la etapa limitante es la transferencia de materia en la superficie de las gotas. Una vez alcanzada la humedad crítica, la estructura de la partícula es la causante de la disminución de

velocidad del secado, siendo el parámetro limitante la difusión de la humedad en el interior de la partícula seca (Singh, 2009).

Una vez secas, las partículas abandonan la cámara de secado y se separan del aire mediante un ciclón, la humedad alcanzada suele ser inferior al 5% y el alimento seco debe almacenarse en recipientes estancos. La calidad del producto suele ser excelente debido al efecto refrigerante del proceso de evaporación en la cámara de secado. La posterior reconstitución del producto al mezclarlo con agua es sencilla dado el pequeño tamaño de partículas del mismo (Singh, 2009).

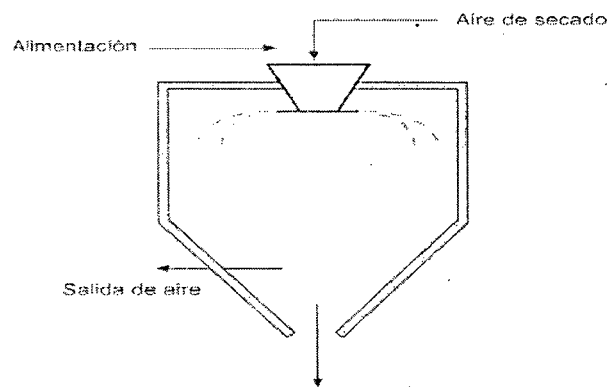


Fig. 08. Esquema de un sistema de secado por atomización.
Fuente: (Singh, 2009).

3.6.5 Secado por Liofilización

Si se reduce la temperatura de un producto hasta que el agua en él contenida se congele y posteriormente se reduce la presión, este hielo sublimará. El secado por liofilización se utiliza en muchos alimentos, sobre todo cuando la calidad es importante para la aceptación del producto por parte de los consumidores (Singh, 2009).

En el secado por liofilización, los procesos de transferencia de materia y transmisión de calor se producen simultáneamente. Dependiendo de la configuración del sistema de secado, como lo

detalla la Fig. 09, la transmisión de calor tendrá lugar a través de una capa de producto congelado o a través de una capa de producto seco. Obviamente, la transmisión de calor a través de la capa congelada será rápida y no será esta la etapa limitante; sin embargo, la transmisión de calor a través de la capa de producto seco será lenta debido a la baja conductividad de los sólidos muy porosos sometidos a vacío. En ambas situaciones, la transferencia de materia tendrá lugar a través de una capa de producto seco. Cabría esperar, por tanto, que la difusión del agua fuera la etapa limitante debido a las bajas velocidades de difusión molecular en condiciones de vacío (Singh, 2009).

Las ventajas de este proceso son la alta calidad del producto, debido a que la sublimación se realiza a baja temperatura, y la conservación de su estructura. Estas ventajas compensan las necesidades energéticas y de producción de vacío del proceso (Singh, 2009).

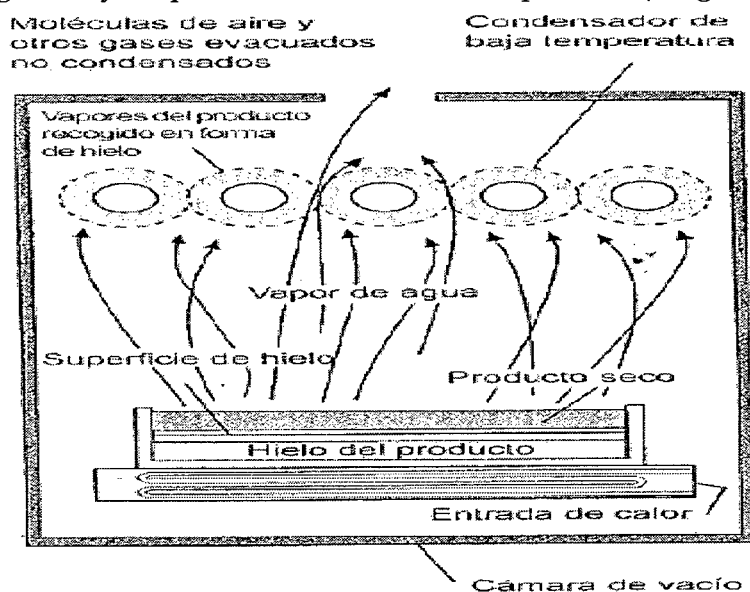


Fig. 09. Esquema de un sistema de secado por liofilización.

Fuente: (Singh, 2009).

3.6.6 Secadero de Horno

Se utiliza para procesar granos, frutas y hortalizas. Según la Fig. 10, consiste en dos pisos construidos con una plataforma con aberturas que separan las sección de secado, de la sección de quemado en la planta inferior.

El producto se coloca sobre la plataforma perforada y el aire caliente se fuerza desde la sección inferior hacia la sección de secado a través de la plataforma. Los tiempos son bastantes largos debido a la gran cantidad de productos procesados por cada ciclo de secado (Brennan, 1990).

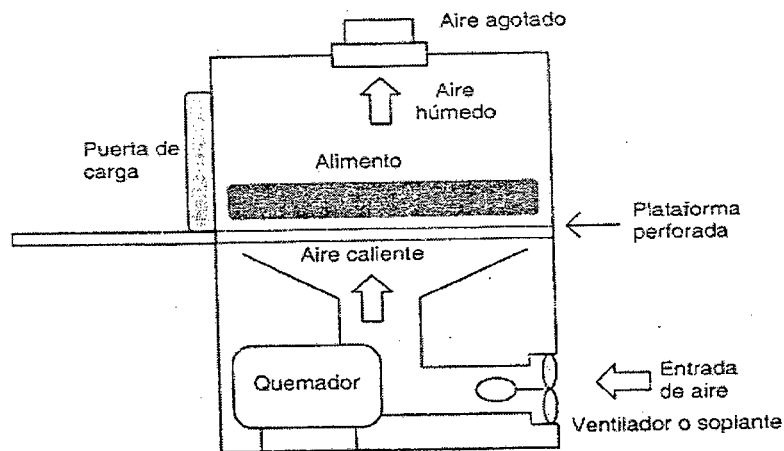


Fig.10 . Configuración Típica de un Secadero de Horno

Fuente: (Brennan, 1990).

3.6.7 Secadero Rotatorio

El secador rotatorio constituye una de las formas más ampliamente utilizadas para el secado, de una amplia gama de materiales, a nivel industrial, en forma rápida y con bajo costo unitario cuando se trata de grandes cantidades. En este tipo de secador, como lo detalla la Fig. 11, el material húmedo es continuamente elevado por la rotación del secador, dejándolo caer a través de una corriente de aire caliente que circula a lo largo de la carcasa del secador. El flujo de aire puede

ser tanto en paralelo como en contracorriente. Los secadores de gran tamaño poseen, a continuación, un enfriador del producto, que opera en base al mismo principio y con aire en contracorriente o un enfriador en lecho fluidizado (Brennan, 1990).

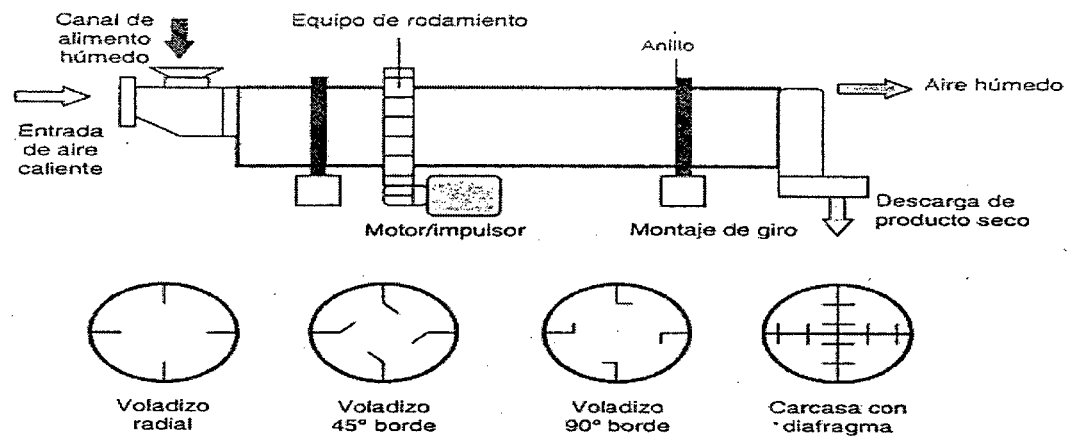


Fig.11 . Secadero rotatorio y voladizos.

Fuente: (Brennan, 1990).

3.6.8 Secaderos de Cinta o Correa

Se basa en la similitud de un secadero de túnel, excepto que el producto es transportado a través del sistema mediante una cinta o correa transportadora. La configuración más común que se utiliza en la práctica es la de flujo a través del producto, como en la Fig. 12, la cual consiste en pasar el aire caliente directamente a través de la cinta y capa del producto.

El sistema de calentamiento será neumático o eléctrico, utilizando gas, vapor, electricidad o calor residual como medio de calefacción. El diseño de los secaderos en construcción modular permite adiciones económicas o extensiones de unidades similares (Brennan, 1990).

En la Fig. 13, se muestra un sistema de secadero de cinta mixto con equicorriente y contracorriente (Brennan, 1990).

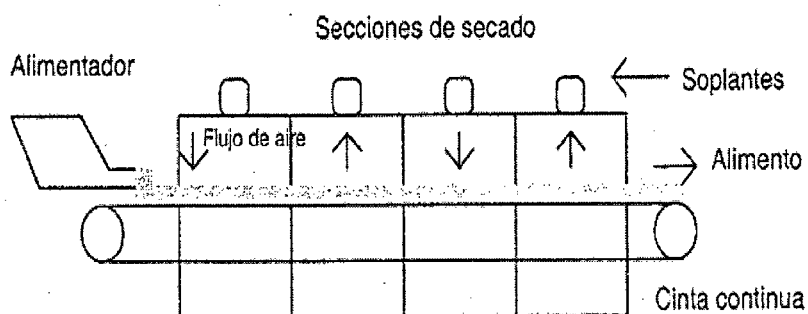


Fig.12. Secadero de cinta con flujo a través del producto.

Fuente: (Brennan, 1990).

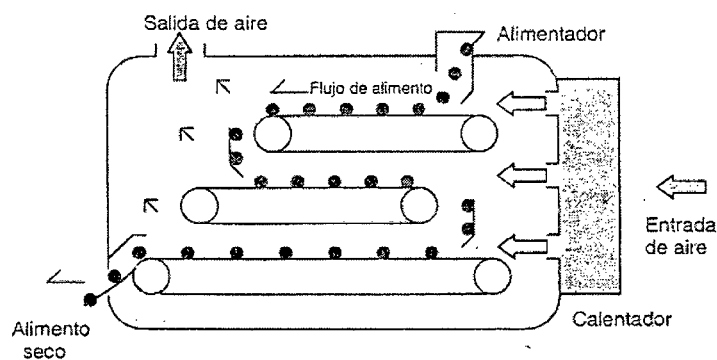


Fig.13. Secadero de cinta mixto con equicorriente y contracorriente.

Fuente: (Brennan, 1990).

3.6.9 Secaderos de Lecho Fluidizado

Generalmente, un lecho se fluidiza mediante un flujo de aire caliente lo que resulta en unas condiciones que son ideales para la aplicación. Existe un contacto íntimo entre el gas y el sólido a una velocidad que provoca coeficientes de transferencias de calor muy altos, con la combinación de la conducción y la convección. Si a esto le aunamos una humedad relativa, obtenemos evaporación casi instantánea a lo que le sigue una importante caída en la temperatura del gas. Así, se mezclan los sólidos eficientemente de lo cual se obtiene un alto grado de uniformidad del secado (Patiño, 2004).

Otro diseño relativamente reciente es el secado de alimentos particulados supone la incorporación de los lechos fluidificados. En estos sistemas, las partículas de alimento se mantienen en suspensión mediante el aire caliente utilizado para su secado. Como se observa en la Fig. 14 el movimiento del producto a secar a través del secadero se favorece por la disminución de la masa de las partículas conforme se van secando. El movimiento de producto creado por las partículas fluidificadas conduce a que todas ellas se sequen en igual medida. La principal limitación al uso de los lechos fluidificados es el tamaño de partícula admisible para lograr un secado eficaz. Como era previsible, cuanto menores sean las partículas menor es la velocidad del aire necesaria para mantenerlas en suspensión y más rápidamente secan; pero no todos los productos cumplen esta condición y por tanto este proceso no puede aplicárseles (Singh, 2009).

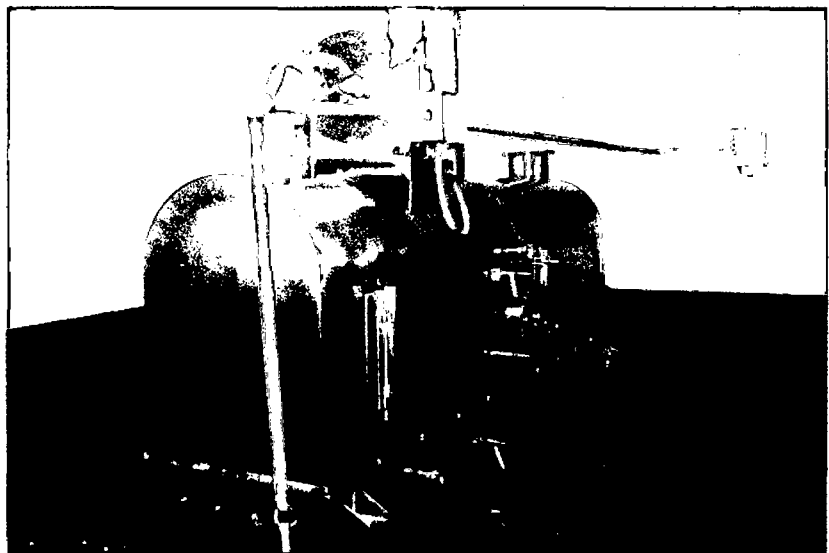


Fig. 14. Secador de lecho fluidizado.

Fuente: Planta Piloto FIA-UNAP

El producto se mantiene en estado fluidizado (a veces con la ayuda de la vibración mecánica) con lo que se consigue una gran superficie efectiva de contacto entre el sólido que se seca y el aire. Este hecho, unido a que el sólido, en el lecho fluidizado, está sometido a una acción de mezcla muy intensa, permite utilizar aire caliente a temperaturas muy elevadas (Cook, 1991).

De este modo se consiguen grandes velocidades de transferencia de materia entre el sólido y el aire y por lo tanto tiempos de secado y muy cortos. Esto hace que la retención en el secador sea pequeña, siendo necesarias instalaciones relativamente pequeñas que ocupan poco espacio en la planta (Cook, 1991).

Por suspensión parcial o total del producto en la corriente de gases de evaporación volumétrica. Incluso cuando fluidiza únicamente el centro de un lecho estático, como en los secadores de lecho por chorro, los coeficientes volumétricos de transferencia de calor son dos veces superiores a los obtenidos en un secador rotatorio. En un lecho completamente fluidizado los coeficientes pueden ser cuatro veces mayores (Cook, 1991).

Para lograr una eficiencia térmica aún mayor y en los casos en que se requiere inertización, los gases de escape se pueden reciclar. Esto se puede aplicar en todos nuestros sistemas de secado por corriente de aire y se puede acondicionar cliente ya tenga instaladas (Cook, 1991).

Los tubos de contacto se pueden incorporar utilizando materiales no-cohesivos que se pueden procesar a temperaturas que alcancen las del líquido dentro de los tubos. El resultado es una reducción



considerable en el flujo de aire en comparación con el lecho fluidizado típico estándar (Cook, 1991).

Durante el procesamiento, muchos de los materiales inician o pasan estado fluidizado vivo durante esta fase de transición. Se han suministrado unidades por lotes o continuas que van desde el tamaño a escala piloto hasta los 300pies² (28m²) (Cook, 1991).

El lecho fluidizado se usa en una amplia gama de industrias debido a su posible gran capacidad, su costo bajo de construcción, fácil sólido puede ser fluidizado por un gas. Así, se mezclan los sólidos eficientemente de lo cual se obtiene un alto grado de uniformidad del secado (Patiño, 2004).

Esta tecnología también se puede usar para aplicaciones de enfriamiento, en unidades individuales o combinadas con el secado en una sola cama zonificada (Cook, 1991).

3.7 EXPERIENCIAS DE UN TRABAJO DE INVESTIGACION UTILIZANDO COMO MATERIA PRIMA AJI DULCE

La presente memoria descriptiva se realizó en la ciudad de Iquitos, recopilando información en las bibliotecas especializadas de la FIA, FIF y la FIQ de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP).

3.7.1 Materia Prima.

La materia prima a emplearse es el ají dulce (*capsicum sp variedad regional*), maduros (color rojo y verde), azúcar, bisulfito de sodio y también se empleara el secador de lecho fluidizado. La parte

experimental del proyecto se desarrollara en las instalaciones de la Planta Piloto de la Facultad de Industrias Alimentarias, que cuentan con la infraestructura y equipos necesarios para la realización del proyecto.

3.7.2 Materiales de Laboratorio

- Cuchillos.
- Colador
- Manteles.
- Baldes de plásticos.
- Guantes.
- Mandiles de trabajo.
- Marcador para vidrio.
- Cápsula de porcelana (crisol)
- Probeta graduada
- Pinza de metal
- Desecador de vidrio.

3.7.3 Equipo de Laboratorio

➤ Laboratorio

- Balanza analítica - Mettler Toledo AG 204
- Estufa - Thermolyne modelo 9000

➤ Equipo de Secado

Secador de lecho fluidizado:

Modelo : SLFT-24OX

Capacidad	: 480 Kg
Uso	: Manual
Área	: 133 m2

3.7.4 Controles Antes del Procesamiento:

➤ **Análisis microbiológicos:**

- ✓ Coliformes Totales: Se analizara de acuerdo a R.M. N° 591-2008/MINSA.
- ✓ Mohos y levaduras: Se analizara de acuerdo a R.M. N° 591-2008/MINSA.
- ✓ Escherichia Coli: Se analizara de acuerdo a R.M. N° 591-2008/MINSA.
- ✓ Aerobios Mesofilos: Se analizara de acuerdo a R.M. N° 591-2008/MINSA.

➤ **Análisis fisicoquímicos:**

- ✓ Humedad: Se determinara el contenido de humedad inicial por el método de N.T.P 206.011.
- ✓ Ceniza: Se determinara por el método N.T.P 206.012
- ✓ Proteína: Se determinara por el método ITINEC - N.T.N. 201.021
- ✓ Fibras: Se determinara por el método de la A.O.A.C 920.39
- ✓ Acidez titulable: se determinara por el método de la A.O.A.C 942.15
- ✓ pH : Análisis bromatológicos según N.T.P 206.040

3.7.5 Determinaciones Experimentales Durante el Proceso

➤ **Determinación experimental de la velocidad de secado.**

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se procede a colocar una muestra en una bandeja. Si se trata de material sólido se debe llenar por completo la base de la bandeja, de manera que sólo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida en peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja de una balanza adaptada a un gabinete o a un dueto a través del cual fluye el aire de secado.

La muestra no debe ser demasiado pequeña y se debe introducir en una bandeja similar a la que se usará en producción. La relación entre superficie de secado y superficie de no secado (superficie aislada) así como la profundidad del lecho del sólido deben ser idénticas. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser las mismas y constantes para simular un secado en condiciones constantes.

➤ **Conversión de los datos a curva de velocidad de secado.**

Los datos que se obtienen de un (experimento de secado por lotes, generalmente se expresan como peso total W del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos de t horas en el periodo de secado. Estos valores se pueden convertir a datos de velocidad de secado por los siguientes procedimientos. Primero se recalculan los datos. Si W es el peso del sólido húmedo en

kilogramos totales de agua más sólido seco y W_s es el peso del sólido seco en kilogramos.

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \frac{\text{kg totales de agua}}{\text{kg sólido seco}} \left(\frac{\text{lb totales de agua}}{\text{lb sólido seco}} \right) \quad (8)$$

Después de haber establecido las condiciones de secado constante, se determina el contenido de humedad de equilibrio, x^* kg de humedad de equilibrio kg de sólido seco.

Con él se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre X en kg de agua libre/kg de sólido seco para cada valor de X_t

$$X = X_t - X^* \quad (9)$$

Para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esta gráfica, se miden las pendientes de las tangentes a la curva, lo cual proporciona valores de dx/dt para ciertos valores de t . Se calcula entonces la velocidad R para cada punto con la expresión:

$$R = -\frac{L_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (10)$$

Donde R es la velocidad de secado en $\text{kg H}_2\text{O/h m}^2$, L_s es kg de sólido seco usado y A es el área superficial expuesta al secado en m^2 .

➤ **Gráfica de la curva de velocidad de secado.**

En la figura 15, se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante. 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. Al

llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principiar la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto A'. Este periodo inicial de ajuste en estado no estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado.

La curva de la figura 16, la línea es recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC en la figura 16.

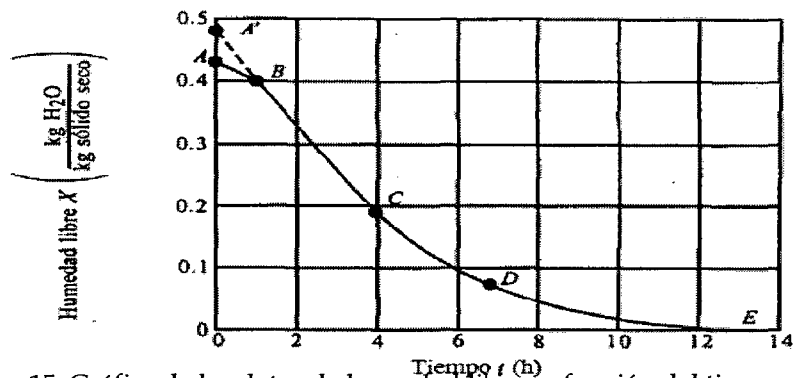


Figura 15: Gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo.

Fuente: (Ramírez, 2007)

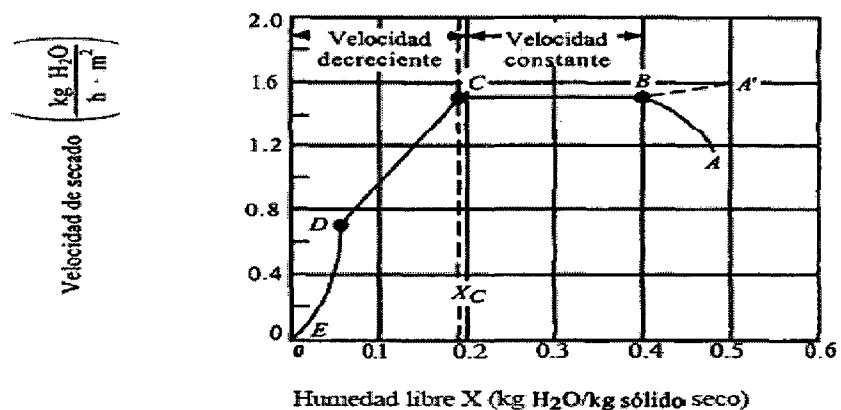


Figura 16: Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.

Fuente: (Ramírez, 2007)

En el punto C de ambas gráficas, la velocidad de secado comienza a disminuir en el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea CD en la figura 16, y por lo general es lineal.

En el punto D la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E, donde el contenido de humedad de equilibrio es P , y $X^* = X^* - X^* = 0$. En el secado de algunos materiales, la región CD no existe, o bien, constituye la totalidad del periodo de velocidad decreciente.

➤ **Método de curva de secado.**

Para estimar el tiempo de secado de determinado lote de material, el mejor método consiste en obtener datos experimentales reales bajo condiciones de alimentación, área superficial relativa expuesta, velocidad del gas, temperatura y humedad, que sean, en esencia, las mismas que tendrá el secador que se usará en la práctica. De esta manera, el tiempo requerido para el periodo de velocidad constante se determina directamente con la curva de secado de contenido de humedad libre en función del tiempo.

➤ **Método de curva de velocidad de secado para el periodo de velocidad constante.**

De la Ec. (10), la expresión se reordena e integra con respecto al intervalo para secar desde X_1 a $t_1 = 0$ hasta X_2 a $t_2 = t$.

$$t = \int_{t_1=0}^{t_2=t} dt = \frac{L_S}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{R} \quad (11)$$

Si el secado se verifica dentro del periodo de velocidad constante, de manera que tanto X_1 como X_2 sean mayores que el contenido de humedad crítica X_c , entonces $R = \text{constante} = R_e$. Al integrar la ecuación anterior para el periodo de velocidad constante:

$$t = \frac{L_S}{AR_C} (X_1 - X_2) \quad (12)$$

➤ **Método para Calcular el Secado para el Periodo de Velocidad Decreciente**

En el periodo de secado de velocidad decreciente que se muestra en la figura 4, la velocidad de secado R no es constante, sino que disminuye cuando el secado pasa por la zona de contenido crítico de humedad libre X_c . Cuando el contenido de humedad libre X , es cero, la velocidad también lo es.

El tiempo de secado para cualquier región entre X_1 y X_2 se obtiene mediante la ecuación:

$$t = \frac{L_S}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{R} \quad (13)$$

Cuando la velocidad es constante, la ecuación anterior se puede integrar para obtener la ecuación para velocidad decreciente. Sin embargo, durante el periodo de velocidad decreciente X_1 varía. La ecuación se puede integrar gráficamente para cualquier forma de la curva de secado de velocidad decreciente, trazando $1/R$ en función de X y determinando el área bajo la curva.

3.7.6 Controles en el Producto Terminado.

Se determinara los siguientes análisis fisicoquímicos y microbiológicos:

➤ Análisis microbiológicos:

- ✓ Mohos y levaduras: Se analizara de acuerdo a R.M. N° 591-2008/MINSA.
- ✓ Escherichia Coli: Se analizara de acuerdo a R.M. N° 591-2008/MINSA.
- ✓ Aerobios Mesofilos: Se analizara de acuerdo a R.M. N° 591-2008/MINSA.

➤ Análisis fisicoquímicos:

- ✓ Humedad: Se determinara el contenido de humedad inicial por el método de N.T.P 206.011.
- ✓ Ceniza: Se determinara por el método N.T.P 206.012
- ✓ Proteína: Se determinara por el método ITINEC - N.T.N. 201.021
- ✓ Fibras: Se determinara por el método de la A.O.A.C 920.39
- ✓ Acidez titulable: se determinara por el método de la A.O.A.C 942.15
- ✓ pH: Análisis bromatológicos según N.T.P 206.040
- ✓ Curvas de equilibrio de humedad: Se determinará la curva de equilibrio por la ecuación de BET. (Zug 2002).

3.7.7 Tipo y Diseño de la Investigación

➤ Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial se realizó de la siguiente manera:

➤ **Fase 1. Selección Del Panel**

Se utilizó el análisis secuencial de Wald (Amerine *et al.* 1965), uno de los más usados, el cual permite mediante pruebas sucesivas rechazar un panelista, aceptarlo o continuar evaluándolo, hasta que sea aceptado o rechazado.

- Pruebas aplicadas para la selección del panel

Se realizaron pruebas de sensibilidad (vista, olfato y gusto) para conocer la capacidad discriminativa de cada panelista.

- Prueba de sensibilidad a la vista

Para la prueba de sensibilidad a la vista se les presentaron a los candidatos una serie de tubos que contenían líquidos de diferentes colores (rojo, verde, y amarillo) para el ordenamiento e identificación.

- Prueba de sensibilidad al olfato

Consistió en presentarles a los participantes varias muestras de olores diferentes para su identificación.

-Prueba de la sensibilidad al gusto

Se les presentaron a los participantes los cuatro sabores básicos (dulce, salado, amargo y ácido) para su detección. Posteriormente se seleccionaron 50 panelistas, los cuales fueron sometidos a un entrenamiento.

➤ **Fase 2. Entrenamiento del panel**

La fase dos de la evaluación sensorial consistió en el entrenamiento del panel seleccionado, a través de pruebas de diferencia como la prueba de Duo-Trio y Triángulo.

- **Prueba de Duo-Trio**

A cada panelista se les entregaron tres muestras, una de las cuales se identificó con la letra R (paprika) y las otras dos fueron codificadas con números aleatorios de tres dígitos (polvo de ají), los panelistas debían identificar cual era la muestra diferente y emitir su juicio por escrito a través de una planilla de evaluación, donde el mayor número de los panelistas acertaron la prueba. La prueba se realizó por triplicado.

- **Prueba de Triángulo**

A cada panelista se les entregaron tres muestras, una de las muestras era diferente (paprika) de las otras dos, todas las muestras estaban entre dos muestras a la vez, de las cuales dos son iguales entre si y la otra diferente y emitir su juicio por escrito de una planilla de evaluación. La prueba se realizó por triplicado.

➤ **Fase 3. Pruebas sensoriales orientadas al producto final**

Se evaluaron las dos muestras de polvo de ají resultantes de los diferentes tratamientos (60 y 70° C).

Se utilizaron pruebas orientadas al producto para evaluar las características color, sabor, olor.

- **Prueba de diferenciación**

A cada panelista se le entregaron tres planillas de comparación de (característico del ají fresco). Una de las muestras era ají fresco y las otras dos (polvo de ají 60 y 70° C) codificadas con números aleatorios de tres dígitos; se les solicitó que probarán, observarán dependiendo del caso, cada una de las muestras y las compararán con el ají fresco e indicarán su respuesta calificando en una escala de 15 puntos (1= menor, 15= mayor) la intensidad de los atributos a evaluar (AECI, 1998).

➤ **Diseño Experimental**

- **Fase 1**

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado teniendo como efectos fijos a las temperaturas aplicadas (60 y 70° C) y los distintos tiempos de secado con cinco repeticiones.

Las observaciones fueron analizadas a través de un análisis de varianza (ANAVA) (AECI, 1998).

Se utilizó el modelo lineal aditivo:

$$y = \mu + \alpha_i + \beta_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

y = Observaciones de las variables (actividad de agua y % de humedad)

μ = Media poblacional

β_i = Efecto del tiempo

α_i = Efecto de la temperatura

ϵ_{ij} = Error experimental

Las interacciones entre los efectos simples fueron no significativas, por lo tanto se excluyeron del modelo lineal.

-**Fase 2**

Los resultados obtenidos para las variables evaluadas de a_w , % de humedad, pH, granulometría, color fueron analizados mediante una prueba de medias de t .

Para las observaciones obtenidas en la evaluación sensorial se analizaron mediante el método estadístico no paramétrico de Kruskal Wallis (AECI, 1998).

3.7.8 Balances de Materia y Calor

En esta sección se discutirán consideraciones específicas tales como flujo de aire paralelo para secado de la superficie y secado con flujo a través del producto.

➤ Secaderos Discontinuos:

Las condiciones de aire no permanecen constantes en un secadero de compartimiento o bandeja mientras se está secando el producto. Los balances de materia y calor se utilizan para estimar las condiciones de salida del gas (temperatura y humedad), las cuales se representan en la fig. 17 para un secadero de bandeja.

El balance de calor para una longitud dL_t de una bandeja para una sección de anchura z se expresa como (Geankoplis, 1983):

$$dq = Gc_s(z \cdot b)dT \quad (14)$$

Donde b (m), es la distancia entre las bandejas, z (m) es la anchura de la bandeja, G (Kg./s m²) es la densidad de flujo de aire seco, q es la densidad de flujo calor, c_s es el calor humedad de la mezcla aire aire-agua y T es la temperatura. Expresado dq en términos de transferencia convectiva de calor:

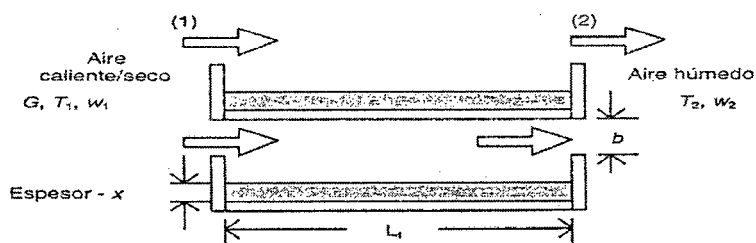


Fig. 17. Variables en los balances de calor y materia en un secadero de bandeja

Fuente: (Geankoplis, 1983).

$$dq = h(z \cdot dL_t)(T - T_w) \quad (15)$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor, T_w es la temperatura de bulbo húmedo y L_t es la longitud de la bandeja. Suponiendo que h y c_s son constantes, las ecuaciones 14 y 15 se pueden redondear e integrar:

$$\frac{hL_t}{Gc_s b} = \frac{T_1 - T_w}{T_2 - T_w} \quad (16)$$

Donde T_1 es la temperatura de entrada y T_2 es la temperatura de salida. la diferencia de temperaturas media logaritmica se define como:

$$(T - T_w)_{ML} = \frac{(T_1 - T_w) - (T_2 - T_w)}{\ln\left(\frac{(T_1 - T_w)}{(T_2 - T_w)}\right)} \quad (17)$$

Combinando las ecuaciones (16) y (17):

$$(T - T_w)_{ML} = \frac{(T_1 - T_w) - \left(1 - \exp\left(\frac{-hL_t}{Gc_s b}\right)\right)}{\left(\frac{-hL_t}{Gc_s b}\right)} \quad (18)$$

El caudal de calor que llega ala superficie desde el aire caliente se puede expresar como:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = hzL_t \Delta T_{ML} \quad (19)$$

Este calor se utiliza para evaporar el agua de la superficie del alimento. El calor total para pasar de una humedad del producto X_1 al inicio hasta el final, que se corresponde a la humedad crítica X_c , será:

$$Q = (zL_s x \rho) \lambda_w (X_1 - X_c) \quad (20)$$

al igualar estas dos ultimas ecuaciones, y teniendo presente la ecuación (18), se obtiene que el tiempo de secado para el periodo de velocidad constante (Geankoplis, 1983):

$$t_c = \frac{x \rho_s L_s \lambda_w (X_1 - X_c)}{G c_s b (T_1 - T_w) \left(1 - \exp\left(\frac{-h L_s}{G c_s b}\right) \right)} \quad (21)$$

Donde X_1 es el contenido inicial de humedad del producto , X_c es el contenido de humedad critico, X es el espesor del lecho, ρ_s es la densidad del solido, y λ_w es el calor latente a la temperatura (Geankoplis, 1983).

El calculo del tiempo para el periodo de velocidad decreciente se determina del modo siguiente. La ecuacion que da la velocidad de secado en estae periodo es:

$$R = \frac{-F_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (22)$$

En la F_s es la cantidad de solidos. Esta velocidad puede expresarse tambien según la ecuacion (Geankoplis, 1983):

$$R = \frac{h}{\lambda_w} (T - T_w)_M \quad (23)$$

En la que se expresa en función de un intercambio de temperaturas medio. Combinando estas ecuaciones, y suponiendo que la velocidad de secado es una función lineal de X, al integrar con la condición límite para $t=0$, $X=X_C$, y para el tiempo final $t=t_d$, $X=X_F$, se obtiene el tiempo de secado para este periodo decreciente (Geankoplis, 1983):

$$t_D = \frac{F_s \lambda_w X_c \ln\left(\frac{X_c}{X_F}\right)}{A h(T - T_w)_M} \quad (24)$$

Si la diferencia media de temperatura es la logarítmica, se puede sustituir la ecuación (18) y se obtiene:

$$t_D = \frac{x \rho_s L_v \lambda_w X_c \ln\left(\frac{X_c}{X_F}\right)}{G_c b (T_1 - T_w) \left(1 - \exp\left(\frac{-h L_1}{G_c b}\right)\right)} \quad (25)$$

En la X_F representa la humedad final del producto.

El tiempo total de secado para pasar de la humedad X_1 a la final X_F se obtiene al sumar los tiempos calculados con las ecuaciones (21) y (25), siendo el tiempo total de secado $t_S = t_C + t_D$.

- **Secaderos Discontinuos con circulación de aire a través del lecho.**

Otro tipo de secadero discontinuo es aquel que en el aire de secado se hace circular a traves del lecho del alimento.

En la fig. 18. se representa un esquema de este tipo de secado. Se supone que el sistema es adiabatico, que no existen perdidas de calor y que circula aire con una densidad de flujo masica G (Kg de aire seco/h m^2), entrando a una temperatura T^1 , con una humedad w_1 (Kg de H_2O / kg de aire seco), mientras que a la salida, el aire posee una temperatura T_2 y una humedad w_2 .

La velocidad global de secado se puede expresar como: (Geankoplis, 1983)

$$R = G(W_2 - W_1) \quad (26)$$

mientras que para un diferencial dz de altura de lecho, la densidad de flujo de calor transmitido por el aire será:

$$dq = GC_s A dT \quad (27)$$

en la que A es la seccion transversal de paso. El calor transferido hacia el solido se puede expresar según la ecuacion:

$$dq = haA (T - T_W) dz \quad (28)$$

en la que a es la superficie específica del lecho de partículas.

Esta superficie específica se determina dependiendo del tipo de partícula, así:

$$\begin{aligned} \text{Partículas esféricas:} \quad a &= \frac{6(1-\varepsilon)}{D_p} \\ \text{Partículas cilíndricas:} \quad a &= \frac{4(1-\varepsilon)(1+0,5D_c)}{D_c L} \end{aligned} \quad (29) \text{ y } (30)$$

En la que L es la longitud de la partícula, D_c es el diámetro del cilindro, D_p es el diámetro de la esfera, y ε es la fracción de huecos de sólido. Suponiendo que h y C_s son constantes, al igualar las ecuaciones (27) (28), e integrándose obtiene:

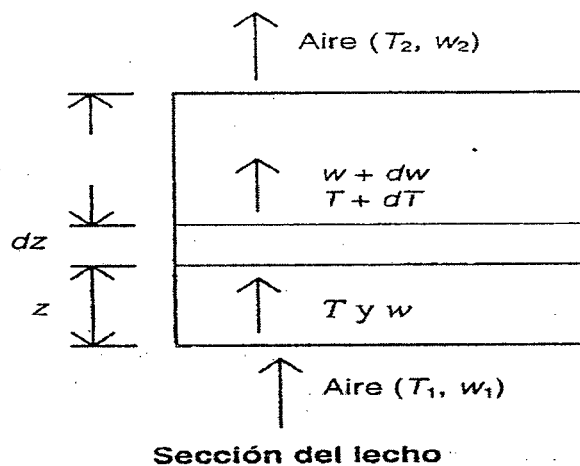


Fig. 18. Secado por circulación del aire a través del lecho.

Fuente: (Geankoplis, 1983).

$$\frac{haz}{Gc_s b} = \ln \left(\frac{T_2 - T_w}{T_1 - T_w} \right) \quad (31)$$

Considerando $F_s = A\rho_s/a$, las expresiones para los tiempos de secado serán:

$$t_C = \frac{\rho_s \lambda_w (X_1 - X_c)}{hA(T - T_w)_M} \quad (32)$$

$$t_C = \frac{\rho_s (X_1 - X_c)}{aK_y M_B (w_w - w)} \quad (33)$$

En la que K_y es el coeficiente de transferencia de materia, M_B la masa molecular, y w_w la humedad del aire a la temperatura T_w . (Geankoplis, 1983).

Periodo de velocidad decreciente:

$$t_D = \frac{\rho_s \lambda_w X_c \ln\left(\frac{X_c}{X_F}\right)}{ha(T - T_w)_M} \quad (34)$$

$$t_D = \frac{\rho_s X_c \ln\left(\frac{X_c}{X_F}\right)}{aK_y M_B (w_w - w)} \quad (35)$$

La diferencia de temperaturas a través del lecho se puede tomar como media logarítmica, ecuación 4, que al sustituir en la ecuación (32) y (34) se obtiene:

Periodo de velocidad constante:

$$t_C = \frac{z\rho_s \lambda_w (X_1 - X_c)}{Gc_s (T_1 - T_w) \left(1 - \exp\left(\frac{-haz}{Gc_s}\right)\right)} \quad (36)$$

Periodo de velocidad decreciente:

$$t_D = \frac{z\rho_s \lambda_w X_c \ln\left(\frac{X_c}{X_F}\right)}{Gc_s (T_1 - T_w) \left(1 - \exp\left(\frac{-haz}{Gc_s}\right)\right)} \quad (37)$$

Donde z es el espesor del lecho:

El coeficiente de transferencia de calor para la circulación del aire de secado se puede evaluar mediante las ecuaciones (Geankoplis, 1983):

$$h = 0,151 \frac{(G_t)^{0,59}}{(D_p)^{0,41}} \quad (D_p G_t / \eta > 350) \quad (38)$$

$$h = 0,214 \frac{(G_t)^{0,49}}{(D_p)^{0,51}} \quad (D_p G_t / \eta < 350) \quad (39)$$

El diametro equivalente (D_p) para una particula cilindrica es:

$$D_p = (D_c t + 0.5 D_c^2)^{1/2} \quad (40)$$

➤ **Secaderos Continuos:**

La ecuacion para el tiempo de secado en el periodo de velocidad constante se expresa como sigue, (Geankoplis, 1983):

$$t = \left(\frac{G}{F_s} \right) \left(\frac{F_s}{A} \right) \frac{1}{K_y M_B} \ln \left(\frac{w_w - w_c}{w_w - w_1} \right) \quad (41)$$

En la que A/F_s es la superficie expuesta al secado. La ecuacion (40) se puede expresar como:

$$t = \left(\frac{G}{F_s} \right) \left(\frac{F_s}{A} \right) \frac{1}{K_y M_B} \left(\frac{w_1 - w_c}{\Delta w_{ML}} \right) \quad (42)$$

Donde Δw_{ML} es la diferencia media logaritmica de la humedad:

$$\Delta w_{ML} = \frac{(w_1 - w_w) - (w_c - w_w)}{\ln \left(\frac{w_w - w_c}{w_w - w_1} \right)} \quad (43)$$

Y la humedad crítica w_c se define como (Geankoplis, 1983):

$$w_c = w_2 + \frac{F_s}{G} (X_c - X_2) \quad (44)$$

La ecuación para el periodo de velocidad decreciente se puede expresar como:

$$t = \left(\frac{G}{F_s} \right) \left(\frac{F_s}{A} \right) \frac{X_c}{X_2 + (w_w - w_2) \left(\frac{G}{F_s} \right) K_y M_B} \ln \left(\frac{X_c (w_w - w_c)}{X_2 (w_w - w_1)} \right) \quad (45)$$

En el caso de equicorriente, el aire caliente a la entrada se pone en contacto con el alimento humedo, con lo que el balance masico se expresa como:

$$Gw_1 + F_s X_1 = Gw_2 + F_s X_2 \quad (46)$$

$$G(w_2 - w_1) = F_s (X_1 - X_2) \quad (47)$$

Que en terminos de valores criticos será:

$$G(w_c - w_1) = F_s (X_1 - X_c) \quad (48)$$

$$w_c = w_1 + \frac{F_s}{G} (X_1 - X_c) \quad (49)$$

IV. CONCLUSIONES

- 1) Mediante esta propuesta técnica se concluye que la mejor temperatura a emplear para el secado de ají dulce en lechos fluidizados, es de 60°C por un tiempo de 13 horas.
- 2) El secado es un método de conservación de los alimentos que consiste en reducir a menos del 13% su contenido de agua.
- 3) El secado por aire de productos alimenticios continuara como una de las técnicas de secado más utilizado a nivel industrial.
- 4) El uso de pre tratamientos para mejorar las características organolépticas, se aplica conjuntamente con el secado con aire en el desarrollo de nuevos productos.
- 5) La utilización de la técnica del secado en lecho fluidizado para el secado de productos alimenticios ha sido frecuentemente recomendada debido a la gran cantidad de transferencia de masa y de calor.
- 6) Se propuso la técnica para el secado de ají dulce en un secador de lecho fluidizado, para mejorar la calidad del producto, tiempo de conservación, y darle un valor agregado; y al mismo tiempo observar cambios en sus componentes originales, los cuales afectan la calidad, propiedades organolépticas y el valor nutricional del producto.

- 7) El flujo ideal para el secado de ají dulce es: materia prima, pesado, lavado y selección, cortado, desemillado, escaldado, enfriamiento, oreado, secado, enfriado y empaquetamiento, almacenaje.
- 8) El ají dulce ofrece las características apropiadas para la utilización del secadero en lecho fluidizado.
- 9) El material de empaque para el envasado del producto deshidratado en trozos será el polipropileno, dicho material ayudara a preservar las características organolépticas del producto, así mismo es muy económico y brinda al consumidor el poder visual del producto.
- 10) Alimentos gruesos y de formas indefinidas como la mayoría de las frutas y verduras requieren que altas velocidades de gas sean sometidas y, cuando son fluidizados, dan lugar a la infiltración de gas así como a la circulación de alimentos sólidos.
- 11) La máxima reducción de humedad de un alimento, evita la proliferación de microorganismos indeseables y la actividad de enzimas, los que son responsables del deterioro de un alimento.

V. RECOMENDACIONES

- 1) Para evitar que la materia prima, en este caso el ají dulce, sea atacado por hongos y otros microorganismos, después de su cosecha, se debe tener mucho cuidado durante el transporte, cosecha y comercialización.
- 2) Incentivar la producción en forma masificada, financiada por el Gobierno Regional, para la producción de la materia prima, y así poder obtener un valor agregado del producto.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **A.E.C.I.** (1998). Agencia Española de Cooperación Internacional. Técnicas de Secado. España.
2. **BABILONIA A, REÁTEGUI J.** (1994). El cultivo de Hortalizas en la selva baja del Perú, Manual Teórico Práctico. 1º Edición. CETA-Iquitos -Perú.
3. **BARBOSA G. Y. VEGA H.** 2000. Deshidratación de alimentos. Acribia, S. A.Zaragoza-España.
4. **BRENNAN, J.G, BUTTERS,J.R, COWELL N.D Y LILLEY.** (1996). Dehydratation en Food Engineering Operation. 3º Edición. Elsevier Applied Science, New York (Pag. 81)
5. **CABRERA A.** (2004). El efecto de la temperatura de operación sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando vapor sobrecalentado para diferentes tipos de partículas. Universidad de las Américas Puebla; Escuela de Ingeniería. México.
6. **COOK, E.M Y DUMONT, H.D.** (1991). Processing Drying Practice.
7. **GEANKOPLINS, C.** (1999). Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ra edición, editorial continental, S.A. de C.V. México Bogotá.
8. **GONZÁLEZ A, ESPINOZA A.** (2008). Obtención de un polvo de ají dulce (*Capsicum Chinese*) Producido mediante deshidratación por aire forzado, Programa de tecnología de los alimentos, Escuela de zootecnia, Núcleo Monagas, Universidad de Oriente, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del estado Monagas (INIA).
9. <http://www.bepex.mx/secadordelechofluidizado.htm>

10. **ITESM** (2009). Generalidades de las frutas deshidratadas. Bioquímica de los alimentos. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Junio
11. **INDECOPI**. (1981). Bizcochos, galletas. Determinación de contenido de cenizas. Norma Técnica Peruana 206.012.Perú.
12. **INDECOPI**. (1981). Bizcochos, galletas. Determinación de contenido de humedad. Norma Técnica Peruana 206.011.Perú.
13. **INDECOPI**. (1981). Bizcochos, galletas. Análisis Microbiológicos. Norma Técnica Peruana 206.040.Perú
14. **JARRIN S.** (2010). Boletín Nutricional - FUNIBER.
15. **PATIÑO J. L.** (2004). Estudio experimental de las hidrodinámicas de un lecho fluidizado al vacío empleando vapor sobrecalentado. Universidad de las Américas Puebla; Escuela de Ingeniería. México.
16. **POTTER, N. Y HOTCHKISS J.** (1999). Ciencia de los alimentos. 5ª Ed. Acribia, S. A. Zaragoza-España.p 221.
17. **RAMÍREZ, N.** (2007).Secado en lote de plátano macho verde (*Musa Paradisiaca L.*) a tres temperaturas. Departamento de desarrollo tecnológico, centro de desarrollo de productos bióticos, IPN. IX Congreso de ciencia de los alimentos y V foro de ciencia y tecnología de alimentos.
18. **RESOLUCION MINISTERAL N°591-2008/MINSA.** Criterios Microbiológicos de Alimentos y Bebidas.
19. **SINGH R.P et all** (2009). Introducción a la Ingeniería de Alimentos. 2º Edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza (España).
20. **VILLACHICA H.** (1996).Frutales y hortalizas promisoros de la Amazonia. Tratado de cooperación Amazónica. primera edición, Lima -Perú.

ANEXOS

ANEXO 01: Pesado del aji dulce

FOTO N° 01



Fuente : FIA-UNAP

ANEXO 02: Selección, cortado y desemillado del aji dulce.

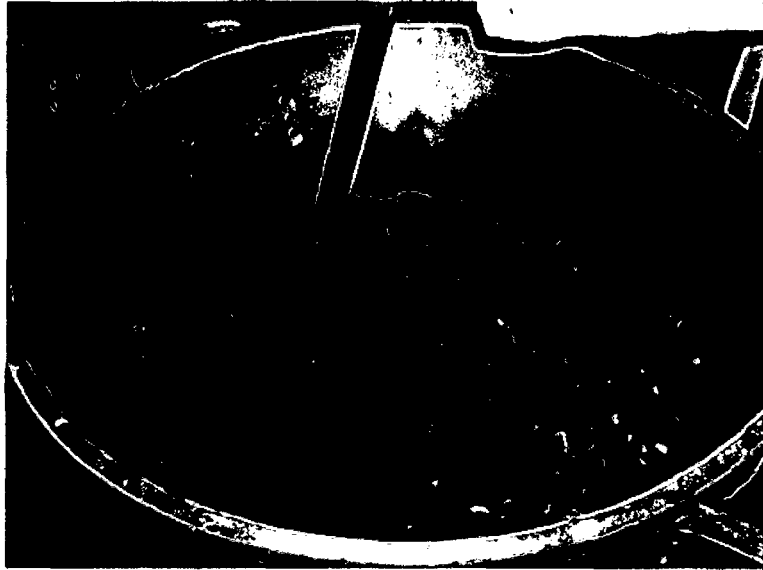
FOTO N° 02



Fuente: FIA-UNAP

ANEXO 03. Escaldado de la materia prima.

FOTO N°03



Fuente: FIA-UNAP

ANEXO 04. Minutos antes del secado del aji dulce en un lecho fluidizado.

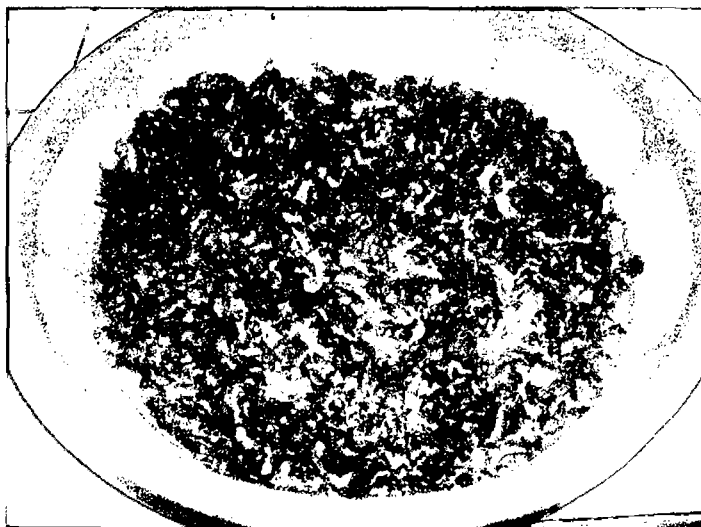
FOTO N° 04



Fuente: FIA-UNAP

ANEXO 05. Aji dulce deshidratado

FOTO N°05



Fuente: FIA-UNAP

ANEXO 06: Trozos de aji dulce deshidratado en pleno proceso de rehidratacion.

FOTO N° 06



Fuente: FIA-UNAP

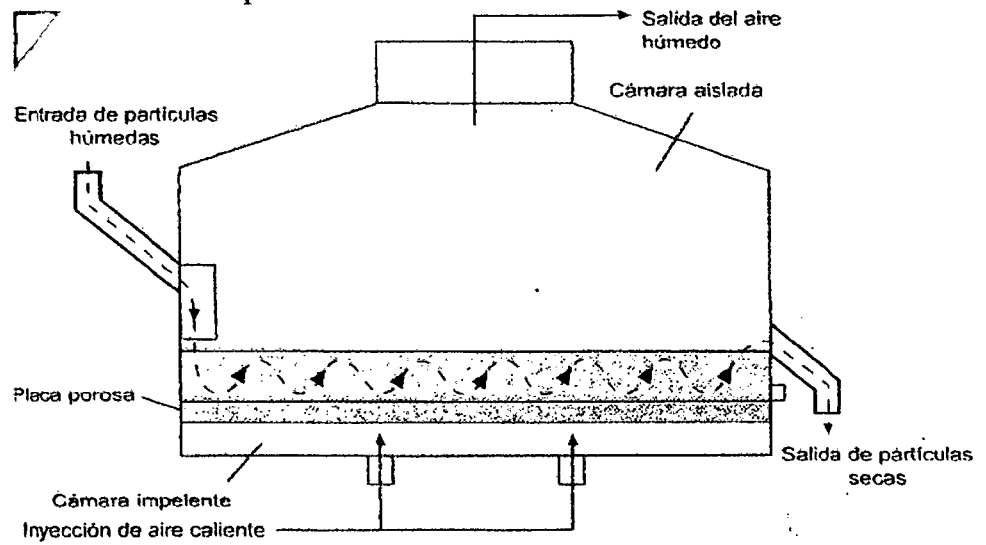
ANEXO 07: Producto totalmente hidratado.

FOTO N° 07



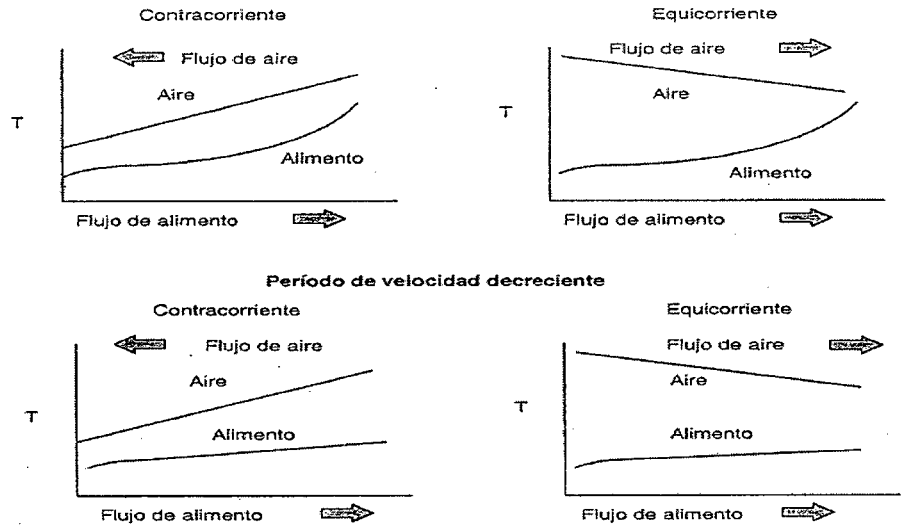
Fuente: FIA-UNAP

ANEXO 08: Esquema de un secador de lecho fluidizado.



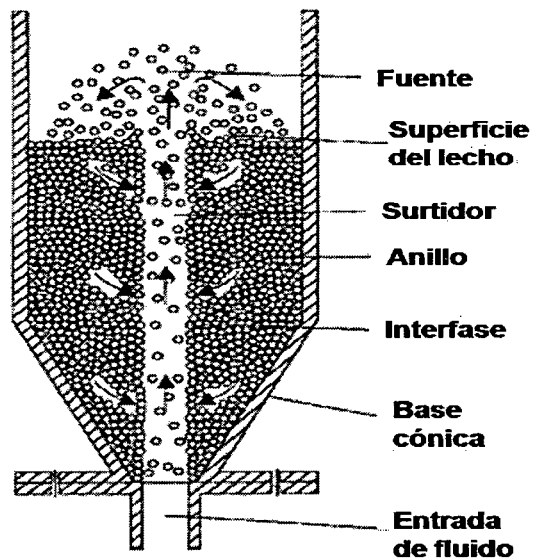
Fuente: (Singh, 2009).

ANEXO 09. Secado en equicorriente y contracorriente de un alimento.



Fuente: Brennan, 1990.

ANEXO 10. Diagrama de un lecho fluidizado.



Fuente: Patiño, 2004

GLOSARIO DE TÉRMINOS

G = densidad de flujo de aire seco (Kg./s m^2).

q = densidad de flujo calor.

c_s = calor humedad de la mezcla aire aire-agua.

T = temperatura.

h = coeficiente de transferencia de calor.

T_w = temperatura de bulbo húmedo.

L_t = longitud de la bandeja.

T_1 = temperatura de entrada.

T_2 = temperatura de salida.

X_1 = contenido inicial de humedad del producto.

X_c = contenido de humedad crítico.

X = espesor del lecho.

ρ_s = densidad del sólido.

λ_w = calor latente a la temperatura T_w .

F_s = cantidad de sólidos.

X_F = humedad final del producto.

A = sección transversal.

a = superficie específica del lecho de partículas.

L = longitud de la partícula.

D_C = diámetro del cilindro.

D_p = diámetro de la esfera.

ε = fracción de huecos de sólido.

K_y = coeficiente de transferencia de materia.

M_B = masa molecular.

w_w = humedad del aire a la temperatura T_w .

D_p = diametro equivalente para una particula cilindrica.

A/F_s = superficie expuesta al secado.

Δw_{ML} = diferencia media logaritmica de la humedad.