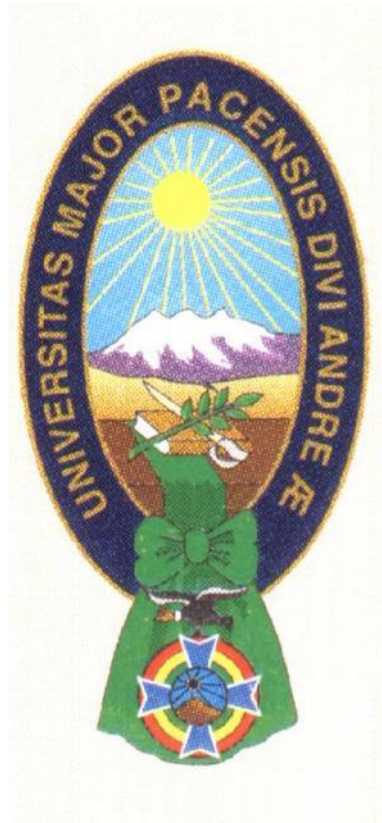


**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES SECADORES
EN BANANO (*Musa sp*), Y PAPAYA (*Carica papaya L.*)
EN LA LOCALIDAD DE IRUPANA**

ANA XIMENA MOSCOSO VALDA

La Paz - Bolivia

2008

**FACULTAD DE AGRONOMÍA CARRERA
DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES SECADORES EN
BANANO (*Musa sp*), Y PAPAYA (*Carica papaya L.*)
EN LA LOCALIDAD DE IRUPANA**

Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el título de
Ingeniero Agrónomo

Ana Ximena Moscoso Valda

Tutor:

Ing. Álex Gómez Butrón

Asesor:

Ing. M Sc. Ángel Pastrana Albis

Tribunal Examinador :

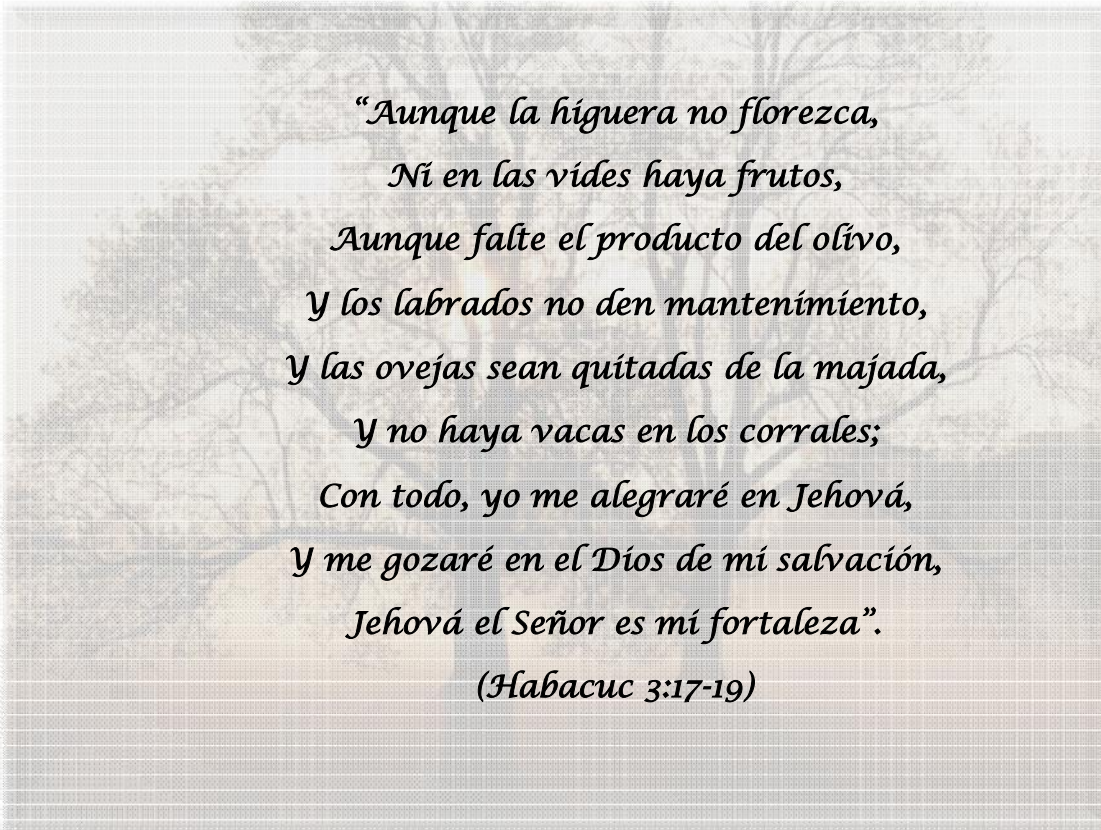
Lic. Cynthia Lara Pizarroso

Dr. Raúl Portillo Prieto

APROBADA

Presidente, Tribunal Examinador:

2008



*“Aunque la higuera no florezca,
Ni en las vides haya frutos,
Aunque falte el producto del olivo,
Y los labrados no den mantenimiento,
Y las ovejas sean quitadas de la majada,
Y no haya vacas en los corrales;
Con todo, yo me alegraré en Jehová,
Y me gozaré en el Dios de mi salvación,
Jehová el Señor es mi fortaleza”.*

(Habacuc 3:17-19)

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi Padre Dios "Sidkenu" Poderoso en Batalla, gracias por sustentarme cada minuto en el transcurso de ésta investigación.

A la memoria de mi abuelita Candelaria López Argandoña y de mi papá Jaime Moscoso Morón, por brindarme todo su amor, apoyo moral y material.

A mi mamá Norma Valda por sus oraciones y cariño.

A mi esposo Mike Padilla con todo amor por su apoyo incondicional.

A cada una de mis hermanas: Ana Karina, Helga, Pamela, Paola Gabriela y Norma Valeria Cecilia por su apoyo moral y sus oraciones.

AGRADECIMIENTOS

Me es muy grato expresar mi agradecimiento en la realización de éste trabajo a cada una de las personas que desinteresadamente me colaboraron:

- ~ Al Lic. M Sc. Luis Alberto Blacutt Benavides, Docente Investigador de la Facultad de Física de la UMSA por su apoyo y consejo profesional.
- ~ Al Ing. Alfonso Guarachi Ayaviri Docente de la Carrera de Ingeniería Química Ambiental y Alimentos de la UMSA por sus enseñanzas y apoyo profesional desinteresado.
- ~ A mi Tutor Ing. Alex Gómez por sus consejos que permitieron la realización de este trabajo de investigación.
- ~ A mi Asesor Ing. M.Sc Ángel Pastrana Albis por su tiempo y orientación invaluable.
- ~ A mi Revisora Lic. Cynthia Lara Pizarroso por su apoyo moral y profesional.
- ~ A mi Revisor Dr. Raúl Portillo Prieto por su guía profesional.
- ~ Al señor Félix Padilla Villata, por su apoyo en la construcción de mis secadores, y el aporte de sus conocimientos.
- ~ Al Lic. Julio Macías y su familia por permitirme hacer uso de su granja, apoyo sin el cual no habría sido posible este trabajo.

Resumen

El presente trabajo de investigación fué realizado en la localidad de Irupana, Sud Yungas, del departamento de La Paz, en la granja “Caja de Agua”; previamente a la instalación de los sistemas de secado se realizó la construcción de tres sistemas diferentes de secadores en la ciudad de La Paz.

El primero, es el sistema secador solar convencional, se caracteriza por estar construido en material de madera y tener una cubierta de agro film, que captura el calor del sol. El segundo, es el sistema de secador solar tecnificado, este se caracteriza por tener un colector de calor solar, más conocido como panel solar con una cubierta de vidrio que cumple la función de retener el calor y distribuirlo por todo el sistema. El tercero, es el sistema secador a leña, que se caracteriza por estar construido en dos partes: la primera, el sistema propiamente dicho y la segunda, un horno a leña, que se conecta al sistema por medio de una tubería metálica, la cual transporta el aire caliente y seco forzando el flujo del mismo por un circuito cerrado, a través de todo el sistema del secador.

Se realizó en la propiedad “Caja de Agua” la instalación de los tres distintos sistemas de secadores, en un área previamente limpiada, para obtener un máximo de radiación solar, posteriormente a los sistemas se les instaló un sistema de cables de termocupla, con sensores de temperatura, los que permitieron obtener la medición de temperatura sin la necesidad de abrir los sistemas.

Las frutas utilizadas para este trabajo de investigación, son: el Banano y la Papaya, que fueron cortadas en tajadas de 0.5 cm de espesor y colocadas en bandejas, con 12 muestras marbeteadas por sistema, también se realizó el pesaje de las muestras marbeteadas tres veces al día (7,13 y 19 horas), así mismo se tomó en cuenta su fácil accesibilidad y la aprobación de la gente a este tipo de fruta.

Para el tiempo promedio, se llegó a determinar que el sistema de secador a leña, cumplió de forma eficiente el proceso de deshidratado para los dos tipos de frutos, en el caso del Banano el tiempo promedio de deshidratado fué de 27 horas 32 minutos y de la Papaya, fue de 27 horas 50 minutos. El mayor tiempo promedio de secado, fué del sistema de secador convencional para el fruto del Banano con 57 horas 33 minutos y para la Papaya, el sistema de secador solar tecnificado con 52 horas 7 minutos, siendo la diferencia del sistema de secador a leña con los otros sistemas, altamente significativa para la variable tiempo promedio.

Para la temperatura promedio, el sistema de secador a leña alcanzó las mejores temperaturas, para el fruto del Banano fue de 55.41° C, para el fruto de la Papaya un promedio de 56, 04°. La menor temperatura alcanzada para el fruto del Banano fue del sistema de secador solar convencional con 34.83° C, y finalmente para la papaya el sistema de secador solar tecnificado con 31.02° C, siendo la diferencia del sistema de secador a leña con los otros sistemas, altamente significativa para la variable temperatura promedio.

Finalmente, se indica que para la construcción, el sistema de secador convencional, fué el más económico llegando a costar la suma de 300.6 Bs, pero el que más baja ganancia semanal alcanza (156.9 Bs. semanal para ambas frutas); mientras que el sistema de secador a Leña tiene una ganancia semanal de 218.4 Bs. Y un costo de construcción de 492.6 Bs.

SUMMARY

The present work of investigation was carried out in the locality of Irupana, South Yungas of the department of La Paz in the farm "Box of Water". Previously to the installation of the systems the construction of three systems of dryers in the city of The Peace was carried out.

The first one is the system conventional solar dryer. It is characterized for being built of wood and for been covered with agro film that captures the heat of the sun. The second is the system of solar dryer modernized that is characterized for having a collector of solar heat with a covered with glass that complies the function of retaining the heat and to distribute it for all the system.

The third it is the system is the system of dryer to firewood that is characterized for being built in two parts. The first one the exactly said system. The second an oven to firewood that is connected to the system through a metallic tubing, which transports the dry and hot air forcing the flow of the same one by a closed circuit thorough all the dryer system.

The fruits utilized for this work are: the banana and the papaya that were cut in sliced of 0,5 cm in thickness and placed in trays. They were labeled, 12 samples by system. Also I take in account its easy accessibility and the approval of the people to this type of fruit.

The installation of the three systems was carried out in the "Box of Water" property . The area was cleaned to obtain a maximum of solar radiation. Subsequently to the systems was installed them a system of cables of thermal sensors the ones that permitted to obtain the measurement of the temperature without need to open the systems. Also the weighing of the labeled samples was carried out three times a day (at 7, 13 and 19)

For the time average came determine that the system to dry to firewood complied of efficient form the process of dehydrated for the two fruits. The time average of dried of the banana was of 27 hours 32 minutes and for the papaya 27 hours and 50 minutes

The longer time for drying banana corresponded to the system of conventional dryer with 57 hours and 33 minutes. For the papaya the system of solar dryer modernized with 52 hours and 7 minutes. The difference of times of dried with respect to that of firewood is highly significant. The dryer to firewood reached the better temperatures for the papaya with an average of 56,04 °C followed by the system conventional solar dryer with 35,47 °C and finally the modernized dryer system with 31,02 °C.

For the banana the system of dryer to firewood reached the better temperatures, 55,41 °C, followed by the system of solar dryer modernized with 34,86 °C. The dryer to firewood presents a significant difference with regard to the other two types of dryers

Finally it can be said that the system of conventional dryer was the most economic one, Bs. 300,6; nevertheless it gives a very low weekly profit, Bs. 156,9. While the system of dryer to firewood has a weekly profit of Bs. 218,4 and a construction cost of Bs. 492,6

CONTENIDO

ÍNDICE DE GRÁFICOS	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE IMÁGENES	iii
ÍNDICE DE ANEXOS	iv
RESUMEN	v

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivo Específico.....	3
1.2. Hipótesis	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Conservación	4
2.2. Secado	4
2.2.1. Métodos de Secado.....	5
2.2.2. Proceso de Secado... ..	5
2.3. Condiciones para el Secado.....	6
2.3.1. Corte del Fruto	6
2.3.2. Aire y Temperatura	6
2.4. Humedad.....	7
2.5. Convección	7
2.6. Flujo Forzado de Aire.....	8
2.7. Ventajas de los Frutos Secos	8
2.8. Problemas de los Frutos Secos.....	8
2.9. Fruta.....	9
2.9.1. El Banano	9
2.9.2. La Papaya.....	11

	Pág.
2.10. Calidad.....	12
3. LOCALIZACIÓN.....	14
3.1. Ubicación Geográfica.....	14
3.2. Características Ecológicas.....	14
4. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1. Materiales	15
4.1.1. Material Vegetal.....	15
4.1.2. Material de Campo.....	15
4.1.3. Material de Laboratorio.....	16
4.1.4. Material de Gabinete.....	16
4.2. Metodología.....	16
4.2.1. Sistema de Secador Solar Convencional.....	17
4.2.2. Sistema de Secador Solar Tecnificado.....	18
4.2.3. Sistema de Secador a Leña.....	19
4.2.4. Instalación del Sistema para Medir la Temperatura	20
4.2.5. Selección de la Fruta	
4.2.5.1. Banano.....	21
4.2.5.2. Papaya	21
4.2.6. Ubicación en Campo de los Secadores.....	21
4.2.7. Proceso	22
4.2.8. Cálculos.....	24
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
5.1. Temperaturas a Cinco Distintas Horas del Día	27
5.1.1. Variable de Temperatura a las 7 a.m	27
5.1.2. Variable de Temperatura a las 10 a.m.....	31
5.1.3. Variable de Temperatura a las 13 p.m.....	34
5.1.4. Variable de Temperatura a las 16 p.m.....	38

	Pág.
5.1.5. Variable de Temperatura a las 19 p.m.....	41
5.1.6. Temperatura Promedio a las Cinco Diferentes Horas del Día.....	44
5.2. Gráfico del Tiempo.....	46
5.2.1. Gráfico del Tiempo Promedio para el Factor Banano.....	46
5.2.2. Gráfico del Tiempo Promedio para el Factor Papaya.....	47
5.3. Tiempo Total que se Requirió para el Deshidratado.....	48
5.4. Humedad de la Tajada del Fruto en Base Seco.....	51
5.4.1. Curva de Comparación de Secado Humedad en Base Seco (HBS) del Banano con Relación al Tiempo.....	51
5.4.2. Curva de Comparación de Secado Humedad en Base Seco (HBS) de la Papaya con Relación al Tiempo.....	55
5.5. Humedad Extraída de la Tajada del Fruto en Base Húmedo (HBH).....	59
5.5.1. Humedad Extraída.....	61
5.6. Comparación Visual de Calidad de las Frutas con un Producto Comercial	63
5.6.1. Comparación Visual de la Calidad del Producto Final en Banano para los Tres Tipos de Sistemas de Secador con un Producto Comercial.....	63
5.6.2. Comparación Visual de Calidad del Producto Final en Papaya para los Tres Tipos de Sistemas de Secador con un Producto Comercial.....	65
5.7. Estudio Económico Parcial.....	66
6. CONCLUSIONES.....	68
7. RECOMENDACIONES	70
8. BIBLIOGRAFÍA.....	71
9. ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

		Pág.
Gráfico 1	Temperatura Promedio de los Tres Secadores Durante el Deshidratado del Banano.....	44
Gráfico 2	Temperaturas Promedio de los Tres Secadores Durante el Deshidratado de la Papaya.....	45
Gráfico 3	Tiempo Promedio de Deshidratado en los Tres Sistemas de Secadores para el Factor Banano	46
Gráfico 4.	Tiempo Promedio de Deshidratado en los Tres Sistemas de Secadores para el Factor Papaya.....	47
Gráfico 5	Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS del Banano en la Repetición 1 con Relación al Tiempo (Valores de pérdida de peso).....	51
Gráfico 6.	Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS del Banano en la Repetición 2 con Relación al Tiempo (Valores de pérdida de peso)	52
Gráfico 7.	Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS del Banano en la Repetición 3 con Relación al Tiempo (Valores de pérdida de peso)	53
Gráfico 8.	Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS de la Papaya en la Repetición 1 con Relación al Tiempo (Valores de pérdida de peso).....	55
Gráfico 9.	Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS de la Papaya en la Repetición 2 con Relación al Tiempo (Valores de pérdida de peso).....	56
Gráfico 10	Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS de la Papaya en la Repetición 3 con Relación al Tiempo...	57
Gráfico 11.	Humedad Extraída del Banano.....	61
Gráfico 12.	Humedad Extraída de la Papaya.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos de la Variable Temperatura a las 7.00 a.m. en °C.....	27
Tabla 2. Análisis de Varianza de Temperatura a las 7 a.m	27
Tabla 3. Medias del Factor A.....	28
Tabla 4. Medias del Factor B.....	29
Tabla 5. Medias de los Tratamientos AB.....	29
Tabla 6. Comparación de Medias..	30
Tabla 7. Datos de la Variable de Temperatura a las 10 a.m. en °C.....	31
Tabla 8. Análisis de Varianza.....	31
Tabla 9. Medias del Factor A.....	32
Tabla 10. Medias del Factor B.....	32
Tabla 11. Medias de Tratamientos AB.....	33
Tabla 12. Comparación de Medias.....	33
Tabla 13. Datos de la Variable de Temperatura a las 13 p.m. en °C.....	34
Tabla 14. Análisis de Varianza.....	35
Tabla 15. Medias del Factor A.....	35
Tabla 16. Medias del Factor B.....	36
Tabla 17. Medias de Tratamientos AB.....	36
Tabla 18. Comparación de Medias.....	37
Tabla 19. Datos de la Variable de temperatura a las 16 p.m. en °C.....	38
Tabla 20. Análisis de Varianza.....	38
Tabla 21. Medias del Factor A.....	39
Tabla 22. Medias del Factor B.....	39
Tabla 23. Medias de los Tratamientos AB.....	40
Tabla 24. Comparación de Medias.....	40
Tabla 25. Datos de la Variable de Temperatura a las 19 p.m. en °C.....	41
Tabla 26. Análisis de Varianza.....	41
Tabla 27. Medias del Factor A.....	42
Tabla 28. Medias del Factor B.....	42
Tabla 29. Medias de los Tratamientos AB.....	43

	Pág.
Tabla 30. Comparación de Medias.....	43
Tabla 31. Datos Variable Tiempo Total en Horas.....	48
Tabla 32. Análisis de Varianza.....	48
Tabla 33. Medias del Factor A.....	49
Tabla 34. Medias del Factor B.....	49
Tabla 35. Medias de Tratamientos AB.....	50
Tabla 36. Comparación de Medias del Factor A.....	50
Tabla 37. Datos de la Variable Humedad en Base Húmeda.....	59
Tabla 38. Análisis de Varianza.....	59
Tabla 39. Medias del Factor A.....	60
Tabla 40. Medias del Factor B.....	60
Tabla 41. Medias de Tratamientos AB.....	61
Tabla 42. Relación Beneficio Costo.....	66
Tabla 43. Precio por Semana de Secado.....	67

ÍNDICE DE IMÁGENES

Comparación visual de la calidad del producto final en Banano para los tres tipos de sistemas de secador con un producto comercial.

	Pág.
Imagen 1. Sistema de Secador Solar Convencional.....	63
Imagen 2. Sistema de Secador Solar Tecnificado	63
Imagen 3. Sistema de Secador a Leña.....	63
Imagen 4. Producto Comercial.....	63

Comparación visual de calidad del producto final en papaya para los tres tipos de sistemas de secador con un producto comercial.

	Pág.
Imagen 5. Sistema de Secador Solar Convencional	65
Imagen 6. Sistema de Secador Solar Tecnificado	65
Imagen 7. Sistema de Secador a Leña.....	65
Imagen 8. Producto Comercial.....	65

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Sistema de Secador Solar Convencional	17
Fotografía 2: Sistema de Secador Solar Tecnificado	18
Fotografía 3: Sistema de Secador a Leña.....	19
Fotografía 4: Instalación del Sistema para medir la Temperatura	20

Determinación del efecto de diferentes secadores en Banano (*Musa sp*), y Papaya (*Carica papaya L.*) en la localidad de Irupana

1. INTRODUCCION.

El secado ha sido desde tiempos remotos un medio de conservación de los alimentos, para su aplicación se adquirió conocimiento de forma sencilla por medio de la observación de la naturaleza, por ejemplo los frutos de los dátiles y de los higos cuyo contenido de azúcar aumenta a medida que va secando en el árbol.

El secado por medio de la energía solar se emplea en muchas regiones del mundo se usa para preparar pasas de la uva y ciruelos. El secado en forma artificial data del siglo XVIII, ya que el secado por el sol directo presentaba muchos problemas, como el polvo, las plagas, y la falta de control en el proceso de deshidratación (Potter, 2007).

La deshidratación es un proceso de remoción limitada de humedad, hidrogeno y oxigeno, así como la pérdida de los fluidos de una porción de pulpa comestible, en este caso, sometida a un tratamiento térmico para reducir su contenido de agua lo máximo posible (Mish, 2005).

Para éste propósito, una de las técnicas más económicas, de deshidratación, es el uso de la energía solar para el secado de los productos agrícolas.

La deshidratación consiste en prolongar la vida útil del alimento de tal modo que sea comestiblemente ventajoso para el consumo humano fuera del ciclo vegetativo del fruto, para lo que se tomará el producto en el punto de madurez más apetitoso a la vista, manteniéndolo en ese estado, y evitando que experimente cambios bioquímicos de descomposición.

Los Yungas del departamento de La Paz, se caracterizan por tener abundancia en cultivos frutales, de los que un gran porcentaje se pierden.

Hoy por hoy el productor se ve obligado a regalar su producto a acopiadores e intermediarios por la falta de caminos adecuados que permitan el rápido tránsito de las frutas a su destino, uniéndose a esto los problemas sociales que desembocan en bloqueos, lo que hace que el productor opte por otro tipo de cultivos dejando de lado el cuidado y mantenimiento de los frutales, ganando así espacio la producción del cultivo de la hoja de coca, poniendo de este modo en riesgo las zonas productoras de fruta.

Una de las ventajas de los frutos secos es que se pueden utilizar frutos sobrantes de la época de cosecha, manteniendo sus propiedades de sabor y color, además de consumirlo en estaciones del año donde éstas frutas no pueden consumirse en estado fresco, hay que tomar en cuenta que las frutas deshidratadas han adquirido un valor agregado siendo muy apreciadas en la industria de la repostería, chocolatería y elaboración de jugos.

En la actualidad los frutos secos se transportan a otras regiones de nuestro país, por ejemplo las khisas y orejones, que también se exportan a los países vecinos, unas de sus ventajas es ocupar menos espacio físico y peso para el transporte, dando al productor una alternativa de menor riesgo económico.

En nuestro país, existe una creciente visión sobre los productos de valor agregado que tengan la propiedad de una vida útil más prolongada, de ahí el aumento de empresas y micro empresas que se dedican a la producción y elaboración de alimentos con un valor agregado, de todo tipo (Kucharsky, 1998).

1.1. Objetivos.

1.1.1. Objetivo General.

- ❖ Determinar el efecto de tres secadores sobre la eficiencia del deshidratado en Banano (*Musa sp*), y Papaya (*Carica papaya L*).

1.1.2. Objetivo Específico.

- ❖ Determinar la eficiencia del tiempo de deshidratado de la fruta entre los tres secadores (sistema solar convencional, sistema solar tecnificado y sistema de secador a leña).
- ❖ Determinar la mejor calidad de deshidratado de la fruta entre los tres secadores.
- ❖ Evaluar los costos parciales del secado.

1.2. Hipótesis.

- Ho** No existe diferencia de eficiencia en el tiempo, y la calidad de deshidratación, entre los tres secadores.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Conservación.

Southgate (1992), indica que, el objetivo de la conservación consiste en obtener el alimento en el punto que resulte más sabroso, con el valor nutritivo más alto, y mantenerlo en ese estado, en lugar de permitir que experimente cambios naturales que lo hacen inservible para el consumo humano.

2.2. Secado

López (2002), sostiene que, la deshidratación o secado es un sistema de conservación que implica la eliminación de parte o la totalidad de la humedad (agua libre o disponible) contenida en los alimentos.

Vásquez, *et. al.* (1987), aseguran que, la deshidratación o secado es una porción comestible de las frutas, en este caso, sometida a un tratamiento de calor para reducir el contenido de humedad de la misma.

FAO (1993), afirma que, el secado o deshidratación es la preservación de alimentos a través de la remoción de agua, es probablemente una de las técnicas más antiguas que existen. En el pasado el proceso se simplificaba colocando directamente el producto al sol, esparciendo en el suelo sobre sacos, esteras de hojas de plantas e incluso directamente en el suelo desnudo.

Potter (2007), declara que, el principal motivo para la deshidratación de alimentos es la conservación, aunque no el único, también se utiliza para disminuir el peso y el volumen de masa.

2.2.1. Métodos de Secado.

Meyer (2002), sostiene que, existen tres métodos de deshidratación para frutas y hortalizas: el secado natural que consiste en un secado directo al sol donde se requiere de un clima de temperatura relativamente elevada y baja humedad; la deshidratación con calor artificial que requiere de hornos, armarios estufas u otros que proporcionen temperaturas regulables y buena ventilación; y la deshidratación congelada que se utiliza principalmente en hortalizas para evitar el descoloramiento.

Hobson (1975), advierte que, de todos los métodos para preservar alimentos, la desecación es la más simple y más natural. Es también el más económico en cuanto a la energía utilizada, a elementos necesarios y al espacio para su almacenaje.

Desrosier (2002), explica que las frutas pueden ser secadas al sol, deshidratadas o procesadas por una combinación de estos dos métodos.

2.2.1. Proceso de Secado

Potter (2007), indica que el proceso de secado de cualquier producto consta de dos etapas: La primera es la introducción de calor al producto, y la segunda, es la extracción de la humedad del producto.

El mismo autor, advierte que, en el proceso de secado, cuanto más seco esté el aire, mayor será la velocidad de secado, el aire seco tiene el poder de absorber y retener mayor humedad.

Mohammed y Jackson (1969), explican que, no siempre resulta fácil determinar cuándo ha concluido el proceso de secado, en general es preferible correr el riesgo de un secado excesivo, más bien, que deteriorar el alimento con un exceso de contenido acuoso.

Meyer (2002), indica que para evaluar el progreso del secado se utiliza el índice de reducción, éste es el factor entre el cual se divide el peso inicial de la materia prima, con el peso final, para obtener el peso del producto deshidratado.

2.3. Condiciones para el Secado

Condiciones que se requieren para deshidratar los frutos, como el corte, el aire y la temperatura.

2.3.1. Corte del Fruto

Mohammed y Jackson (1969), indican que las frutas deben cortarse en rebanadas homogéneas menores a 7 mm de espesor, las rebanadas deben ser tan uniformes como sea posible, de lo contrario el secado será desigual y el producto seco resultara de baja calidad.

2.3.2. Aire y Temperatura

Treybal (2001), explica que las muestras deben tener las condiciones más homogéneas posibles entre sí, en cuanto a aireación, transferencia de calor y espesor de la muestra para obtener un buen producto de secado.

Según La Agencia para el Desarrollo Internacional (1965), existe la necesidad de una libre circulación del aire alrededor del alimento que está secando, necesariamente aire tibio o caliente para eliminar más rápidamente la humedad en el alimento.

Ibarz y Babor (1997), explican que, para favorecer la evaporación, debe reemplazarse el aire saturado por aire no saturado, cuanto más rápida sea la renovación de dicho aire tanto más será la evaporación.

Maiztegui y Sabato (1973), indican que, se dice que un ambiente al estar saturado de vapor quita calor al ambiente.

Potter (2007), asegura que, cuanto mayor sea la temperatura del medio de calentamiento, mayor será la transmisión de calor al alimento, para la eliminación de humedad.

Afirma el mismo autor, que cuanto más seco está el aire, mayor será la velocidad de secado y que, ésta sequedad del aire determinará hasta qué punto se puede bajar el contenido de humedad del alimento que se está deshidratando.

2.4. Humedad

Potter (2007), explica que, la temperatura cumple una función doble al aumentar y producir la deshidratación, ésta deshidratación a su vez, satura el aire de humedad, además de recoger la humedad, el aire, la barre a la superficie del alimento, proveyendo la creación de una atmósfera saturada.

Ibarz y Babor (1997), indican que, el calor solar, provoca evaporación causando el constante vapor, como consecuencia se elevará saturando de humedad el aire.

2.5. Convección

Maiztegui y Sabato (1973), explican que, el calor pasa de los cuerpos de mayor temperatura a los de menor temperatura, por ejemplo, una estufa colocada en el piso calienta el aire que está en contacto con ella, éste se eleva y es reemplazado por el aire frío de la parte superior, ésta manera de transmitir calor se llama por convección.

2.6. Flujo Forzado de Aire

Maiztegui y Sabato (1973), aseguran que, en un sistema cerrado de calefacción de aire, el horno calienta el aire que ingresa, al ser éste menos denso, sube por el piso calentando el aire de la habitación, por el extremo opuesto sale ya frío y retorna al horno; por otro extremo entra aire del exterior necesario para la renovación, obligando a un flujo forzado de aire.

2.7. Ventajas de los Frutos Secos

La Agencia para el Desarrollo Internacional (1965), afirma que, secar los alimentos sobrantes de la temporada de su cosecha, equivale a contar con alimentos más saludables, en las estaciones en que no puedan conseguirse frescos.

Southgate (1992), explica que, la deshidratación es una de las tantas técnicas de conservación y que si se elimina la totalidad de agua de los alimentos, las bacterias, levaduras y hongos son incapaces de multiplicarse con lo que se evita la descomposición.

FAO (1993), afirma que, en general, las frutas con menos del 18 % de humedad residual no son sustratos favorables para el desarrollo de hongos, bacterias ni reacciones químicas o bioquímicas de importancia.

Vásquez, *et. al.* (1987), indican que, los frutos secos permiten almacenar y conservar los frutos agrícolas, frutales y alimenticios por espacios de tiempo mayores a 5 años sin deteriorar sus propiedades nutritivas.

2.8. Problemas de los Frutos Secos

Ordóñez (1998), asegura que, uno de los problemas que plantea la deshidratación es la cantidad de fluido residual en especial de frutos enteros, que debe eliminarse al término de la operación.

Mohammed y Jackson (1969), describen que, uno de los principales inconvenientes del secado al sol es el polvo. Por lo tanto, los lugares reservados para el secado tienen que estar protegidos contra el polvo en un cien por ciento, pero como éste tipo de producción hace que los productos húmedos fermenten al cabo de pocas horas, es indispensable que las bandejas de secado se vuelvan a exponer al sol en el menor tiempo posible.

2.9. Fruta

Chardley (1999), explica que, las frutas tienden a ser jugosas debido a su alto contenido de agua, estos porcentajes pueden variar entre 65% a 90%. Siendo que en el caso del banano se tiene 75.7% de agua y en la papaya 87.29% de agua.

2.9.1. El banano

Ardaya y Koderá (1999), identifican y citan algunas propiedades fisicoquímicas del banano: Procede de la familia Musáceas, planta no cotiledónea cuyos frutos se constituyen en elementos básicos de la dieta de casi todos los países tropicales, pertenece a la especie (*Musa sapientum*) y (*Musa caberdishii*) plátanos comestibles cuando están crudos, tiene su origen en Asia Meridional, de fruto oblongo de clima cálido requiere para su cultivo entre 26 y 30° C de temperatura ambiente, una humedad relativa del 60 % y una precipitación pluvial entre 1.000 a 2.000 mm uniforme al año.

Además, según Ardaya y Koderá (1999), los bananos son frutos de 5 a 30 cm de longitud y de 50 a 70 g de peso según la especie, se encuentran agrupados en racimos de hasta 200 frutos; durante el desarrollo del fruto, estos se doblan geotrópicamente, según el peso de éste; siendo de color amarillo verdoso, amarillo, amarillo rojizo, o rojo; tiene un elevado valor energético (1.1-2.7 Kcal./100 g), constituyendo una importante fuente de vitamina B y C.

Los mismos autores, añaden que los bananos son utilizados en fruto verde secado y molido para la obtención de harina y en la fabricación de bebidas alcohólicas como la cerveza de plátano.

López (2002), asegura que solo una fracción de la producción, de los bananos cultivados, son conservados por medio del secado, congelado y enlatado, por lo que éstos procesos de conservación, son de cierta importancia en los lugares donde ésta fruta se cultiva extensamente.

En Bolivia, según Ardaya y Koderá (1999), se cultivan las siguientes variedades de banano: Gualele o guineo oloroso, Sedita y Preta pertenecientes a las especies (*Musa caverdishii*) y (*Musa sapientum*), y la variedad de plátano llamado también postre perteneciente a la especie (*Musa paradisiaca*).

Los mismos autores añaden que, la producción del banano y plátano en Bolivia no está diferenciada por variedades; las zonas más importantes de producción se encuentran en el Chapare, entre Cochabamba y Santa Cruz y los Yungas de La Paz.

Según datos proporcionados por CEPROBOL (2006), Bolivia exportó a países como: Alemania, Chile, Estados Unidos, Israel, Nueva Zelanda y Suiza un valor de 8778 dólares americanos por 4410 kilos netos de banano deshidratado.

Ardaya y Koderá (1999), añaden que, la pulpa de banano maduro, está constituida por un 70% agua, y un 30% de material sólido aproximadamente, en su mayor parte carbohidratos; el contenido de gasa y de proteína es bajo. Numerosas son las sales minerales que contienen, entre ellas hierro, fósforo, potasio y calcio, como se puede confirmar en anexo 1.

2.9.2. La Papaya

Ardaya y Koderá (1999), identifican y citan algunas propiedades fisicoquímicas de la papaya: Es un fruto de origen vegetal que pertenece a la familia: Caricácea, Orden: parietales, de la especie: (*Carica papaya*) y su nombre científico es (*Carica papaya* Linn).

Según los mismos autores, para su cultivo requiere un clima cálido entre 17 y 30 °C una humedad relativa del 60 % con una precipitación pluvial uniforme al año de 1.400 a 2.000 mm y suelos franco arenosos.

Añaden también, que este árbol alcanza una altura de 8 a 10 m y vive entre 15 a 20 años, el fruto es una baya oblonga comestible de 10 hasta 50 cm de longitud y de 0.7 hasta 2 kg de peso, periforme o casi cilíndrica, grande, carnosa, jugosa, ranurada longitudinalmente en su parte superior, de color verde amarillento, amarillo o anaranjado-amarillo cuando madura, de una celda anaranjado o rojizo por dentro.

Ardaya y Koderá (1999), explican que, la papaya es un fruto que se consume principalmente en forma fresca, aunque también el consumo se extiende a fruto deshidratado y mermeladas, de la papaya se extrae un ácido llamado látex que contiene alrededor de 25% de Papaína que es una enzima análoga a la pepsina y pancreatina de alta actividad proteolítica de importancia comercial por su utilización en la industria de alimentos Cárnica y de repostería, además de su utilización en la industria cervecera y en la medicina además de otros.

Según los mismos autores, los principales departamentos productores, de papaya son: Santa Cruz, La Paz y Cochabamba. En Bolivia se cultivan solo dos variedades en forma comercial, la criolla también conocida como Salvietti y la Hawai.

También afirman que, la mayor parte de la producción existente corresponde a la variedad criolla, que se caracteriza por un color amarillo-naranja y posee una cavidad

central grande, aspecto que dificulta su transporte por la baja resistencia mecánica en la manipulación y que, el fruto de la papaya contiene en un mayor número la vitamina A; y vitamina C, se puede observar en el cuadro de composición química, los demás compuestos en el anexo 2.

Según el Vice Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (2004), no se tienen datos específicos de exportación de papaya deshidratada, debido a que se envasa mezclada con otros frutos secos.

2.10. Calidad

FAO (1993), define la calidad como un conjunto de atributos o características que identifican la naturaleza de un determinado bien o servicio. Esto significa que la calidad no es sinónimo de buena calidad, sino un concepto interno que produzca bienes aceptables para los consumidores, es decir, que tengan la demanda que se espera.

Mohammed y Jackson (1969), aclaran que, una vez completado el secado, los productos deben ser seleccionados, ya sea en bandejas o sobre mesas, a fin de descartar las materias extrañas y los productos cuyo color no es satisfactorio, los productos de mala calidad debido a su escaso colorido y a su mala apariencia deben envasarse separadamente como productos de segunda clase y no deben mezclarse con los productos de mejor calidad.

Los mismos autores añaden que, para obtener productos acabados de buena calidad es preciso mejorar considerablemente los métodos tradicionales de secado al sol, proceder cuidadosamente y prestar la máxima atención a los diversos detalles de la operación.

Según Ghezán (1997), la cuestión de calidad y seguridad de los alimentos, viene provocando en los países desarrollados una gran cantidad de normas y reglamentaciones sobre aspectos de la producción, comercialización e información al

consumidor, los productos procesados son asociados a menor riesgo de contaminación y a mayor calidad nutricional.

El mismo autor añade, que el consumidor, tiene una imagen sobre la calidad y valor nutricional de los alimentos, constituido por un conjunto de características: vitamínica, dietética, sabor, aroma y presentación que condicionan la demanda de los consumidores.

3. LOCALIZACIÓN.

3.1. Ubicación Geográfica.

El presente trabajo de investigación se realizó en la granja “Caja de agua” de la localidad Yanata, limitando al Norte con población de Laza y al Noreste con Yanata Alta en la localidad de Irupana de la provincia de sud Yungas que limita al Norte con los municipios de Yanacachi y Chulumani, al Sur con la provincia Loayza y al Noreste con la provincia Murillo del departamento de La Paz (GMI, 2007).

3.2. Características Ecológicas.

La localidad de Irupana se encuentra a una altura de 1.848 m.s.n.m estableciéndose geográficamente a 16°29'43" latitud Sur y 67° 29' 00" longitud, posee suelos de tipo franco a franco arcillosos, particularmente de producción orgánica como ser: café, amaranto, maní, banano, plátano, papaya, mango, cítricos, coca y hualusa entre otros, la ganadería es escasa, pero la producción de miel es alta y de buen calidad (GMI, 2007).

Presenta una precipitación pluvial anual de 1.240 mm por año, la temperatura promedio varía entre 15 °C en los meses más fríos y llega hasta 28 °C en los meses más calurosos (SENAMHI, 2007).

La población se caracteriza por dos grupos étnicos definidos: aimaras y afro bolivianos, cuya fuente de ingreso principalmente es a través de la producción de coca (GMI, 2007).

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Materiales.

4.1.1. Material Vegetal.

- Banano (*Musa sapientum*)
- Papaya (*Carica papaya L.*)

4.1.2. Material de Campo.

- Sistema de secador solar convencional
- Sistema de secador solar tecnificado
- Sistema de secador a leña
- Tres láminas de calamina
- Cerca de postes de 50 m de longitud
- Malla de gallinero
- Una pala
- Una picota
- Clavos
- Martillo
- Tubos Berman de 0.20 m de largo
- Conectores de banana
- Estacas de madera
- Machete
- Leña
- Marbetes
- Doce bandejas de 0.64 X 0.59 m
- Sensores de temperatura
- Brújula

4.1.3. Material de Laboratorio.

- Tester de Multi funciones
- Balanza digital
- Horno eléctrico de la Facultad Química de Alimentos de Ing. UMSA
- Tester calibrador del laboratorio de la Facultad de Física de la UMSA
- Termómetro de mercurio

4.1.4. Material de Gabinete.

- Cuaderno de registros de datos
- Calculadora
- Cámara fotográfica
- Computadora
- Material de escritorio

4.2. Metodología.

El presente trabajo de investigación se realizó en la granja “Caja de Agua” de la localidad de Irupana sud Yungas del departamento de La Paz, en el mes de junio.

Se construyeron tres diferentes sistemas de secadores, homogéneos en cuanto a dimensiones de la cabina, con una envergadura de 1.4 m de alto, 0.20 m de altura del piso a la base y 0.20 m de altura del marco superior al techo de dos aguas, también presenta 0.65 m de ancho por 0.60 m de fondo y se construyeron las bandejas de marco de madera con alambre tejido galvanizado como base, cuatro bandejas de 0.64 X 0.59 m para cada uno de los sistemas de secadores, haciendo un total de doce bandejas para los tres sistemas.

Se realizaron cuatro perforaciones verticales por cada sistema de secador en la parte lateral, con una separación de 0.20 m entre ellas, sumándose un total de cuatro en

cada uno de los sistemas de secadores, éste con el fin de introducir un tubo berman, el cual cumplió la función de vía para los cables de termo cupla evitando de esta forma la apertura de las puertas de los secadores.

4.2.1. Sistema de Secador Solar Convencional*



Este sistema la cabina ha sido construido en madera, con una cubierta de a grofilm que permitió el aumento de la temperatura al interior y un forro de tela oscura, que protegió el producto de los rayos ultravioletas, la puerta se abría de abajo hacia arriba, se cerraba con un conjunto de tiras de scrash que se encontraban alrededor del marco y de la puerta, con el fin de evitar la pérdida de calor.

*Modelo extraído del Ing. Álex Gómez (Modelo adaptado de los Menonitas).

4.2.2. Sistema de Secador Solar Tecnificado



Este sistema el armazón de la cabina se construyó con varillas de metal angular de $\frac{3}{4}$ de pulgada, se soldó toda la estructura, las paredes cubiertas con una plancha metálica galvanizada número 27, y se remachó a la estructura, también colocó en los bordes silicona, ésto con el fin de sellar la cabina y evitar la pérdida de calor, posee una puerta lateral en la parte ancha de la estructura de 0.60 m de ancho por 1 m de alto.

Este sistema se caracteriza por estar complementado con un panel solar, que cumple la función de colector solar, las dimensiones del panel son 1.5 m de largo, por 0.65 m de ancho y 0.15 m de alto, recubierto por los tres lados, con una plancha metálica número 27, y en la parte superior por una lamina de vidrio transparente, dicho panel, se conecta a la cabina por la parte inferior contraria a la puerta.

En la parte inferior, la boca del colector, se encuentra abierta y protegida con una malla milimétrica, con el fin de permitir el ingreso del aire a través del panel y a su paso aumentar la temperatura que asciende por el colector y se dirige a la cabina de secado.

La elevada temperatura que produce la cámara por el aire caliente, extrae la humedad de las frutas que se desea deshidratar; y es eliminada por la chimenea en la parte superior de dicha cámara.

4.2.3. Sistema de Secadora a Leña



Este sistema se caracteriza por estar conformado de tres partes: la primera es la cabina de secado, el segundo el horno de leña y finalmente una tubería de metal que se conecta a una chimenea.

La primera parte tiene las mismas dimensiones y características de los anteriores sistemas de secadores. La segunda parte conforma un pequeño horno de leña traspasado por un tubo horizontal con arena, en su parte media, con el fin de que pase el tubo de conexión a la cabina, este horno de leña tiene una chimenea de 2 m de alto para evitar que el humo llegue, de alguna manera, a afectar el sabor de las frutas en proceso.

La tercera parte, está formada por el sistema de flujo forzado que consiste en una tubería en forma de C de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro, este se conecta a la cabina por la

parte inferior, recorre 1.5 m atravesando la parte media del horno que contiene el tubo con arena, lo que permite un aumento de temperatura del aire y evita que el tubo principal se queme, luego asciende a una altura de 1.10 m, para dirigirse nuevamente hacia la cabina en forma horizontal y conectarse por la parte superior del techo, al acople previamente instalado donde se hicieron 3 agujeros de 1 mm de diámetro, cumpliendo de esta forma el flujo forzado de aire y permitiendo la circulación de aire caliente.

4.2.4. Instalación del Sistema para Medir la Temperatura



En el momento de emplazar los sistemas de secadores en el campo se instaló un sistema de cables para la toma de temperatura en cada secador:

se usó 1 m de cable de termocupla para cada conexión y para cada sistema, cada cable de termocupla fué soldado en un extremo con sensores de temperatura y por el otro extremo conectores banana para conectarse al tester multi funciones; cada conexión fué calibrada en la Facultad de Física de la Universidad Mayor de San Andrés; éstas conexiones se instalaron a las cabinas de secado por encima de cada bandeja y a una distancia de 0.20 m entre sí, pasando a través de tubos berman, cada termocupla respectivamente; protegidos por tapones de goma para evitar el escape de temperatura interior de cada sistema de secador, quedando hacia afuera de cada cabina de secado los conectores banana, para la medición de temperatura de cada sistema.

4.2.5. Selección de la Fruta

4.2.5.1. Banano

Se seleccionó de entre los bananos cosechados los maduros y firmes, no golpeados, ni demasiado maduros (en un punto de madurez en la que los frutos eran amarillos y sus bordes de color verde); de los mismos lugares de producción y productores así como de las mismas variedades.

4.2.5.2. Papaya

Se seleccionó de entre la cosecha de papayas, minuciosamente, la fruta de mejor calidad, de las mismas variedades, de los mismos productores y los mismos árboles del área, papayas maduras, firmes, de color amarillo naranja, de modo que no presenten gusanos, golpes ni pudriciones.

4.2.6. Ubicación en Campo de los Secadores

Previamente antes de la ubicación de los tres sistemas de secadores, se limpió un área de 180 m² aproximadamente por el método de chequeo, inmediatamente se deshierbó la zona para eliminar cualquier maleza que pudiera albergar algún tipo de plaga,

posteriormente se procedió al cercado del área con alambre de gallinero, para evitar el ingreso de los perros u otros animales.

A mediados del mes de septiembre, se instalaron los secadores con una orientación hacia el norte, para aprovechar lo mejor posible la luz solar, también, se tomó a la localidad de Irupana como centro piloto para este trabajo de investigación.

4.2.7. Proceso

Antes de iniciar el secado, se lavó y desinfectó cada secador por dentro, de igual manera se hizo con cada bandeja, así mismo se verificó los sistemas para tomar las temperaturas con la ayuda del termómetro de mercurio.

Luego, se inició el proyecto de investigación con el banano: éste fruto se lavó, se peló y se cortó con un cortador estándar de 0,05 m de espesor, en corte longitudinal, cada rebanada se colocó en las distintas bandejas de forma ordenada y se tomó al azar muestras que se marbetearon debidamente.

Estas muestras, fueron pesadas, y se las introdujo a su respectivo secador, se tomó nota del peso, de la temperatura de cada secador, así como de la hora de ingreso para su deshidratado.

Durante el transcurso de cada día, a las 7, 10, 13, 16, y 19 horas se tomó nota de la temperatura interna en cada secador para cada bandeja; se anotó el peso de las muestras predeterminadas al azar, para el cálculo de pérdida de humedad, tres veces al día 7, 13, y 19 horas, para no enfriar demasiado los secadores, hasta que llegó al máximo de su deshidratación, se ordenaron los datos al término de cada día.

Este procedimiento se realizó en forma secuencial, para lo que se desinfectó en cada oportunidad, tanto las bandejas como el interior de cada secador y de igual manera se

verificó la calibración del sistema de toma de temperatura, con la ayuda del termómetro de mercurio.

Se continuó con el proceso de investigación para la Papaya, ésta fruta se lavó meticulosamente, se peló, y se procedió al corte en rodajas en forma elipsoidal de 0,5 cm de espesor con los cortadores estándar que se adquirieron para éste propósito, de tal modo que se obtuvieron piezas lo más homogéneas posible, se dispuso de éstas para cada bandeja de cada secador, en forma ordenada, se tomaron al azar las muestras para cada bandeja, marbeteandolas debidamente, se pesaron y se tomó nota del peso, así como de la hora en la que se procedió a introducirlas a sus respectivos secadores, así mismo de la temperatura para su deshidratado.

Durante el transcurso de cada día a las 7, 10, 13, 16, y 19 horas, se tomó nota de la temperatura interna en cada secador; se pesaron las muestras predeterminadas al azar y se anotó el peso de las piezas muestras de cada bandeja tres veces al día (7, 13, y 19) horas, realizando el cálculo de pérdida de humedad, y ordenando los datos al término de cada día.

Este procedimiento se realizó en forma secuencial, para lo que se desinfectó en cada oportunidad, tanto las bandejas como el interior de cada secador y de igual manera se verifico la calibración del sistema de toma de temperatura con la ayuda de un termómetro de mercurio.

Terminado el proceso de deshidratado, se procedió a la selección por calidad de acabado de la fruta, para lo cual se tomó como parámetro el aspecto visual, comparándolo con un producto de exportación comprado en el mercado.

También, se procedió a registrar de entre las frutas deshidratadas, todas aquellas de color no aceptable: las quemadas u oxidadas, las deshidratadas y las que no llegaron a deshidratar completamente, se calculó el porcentaje con relación a la cantidad puesta al

inicio, así se determinó el efecto de eficiencia de los tres secadores sobre la calidad del secado para cada fruta.

Se procedió al envasado y etiquetado, para la posterior comercialización del producto.

Las muestras se llevaron al horno eléctrico del laboratorio de Química de Alimentos de la Carrera de Ingeniería Química Ambiental y Alimentos de la Universidad Mayor de San Andrés, para deshidratar totalmente las muestras traídas desde Irupana, así fué como se obtuvo el peso de la masa totalmente seca, datos necesarios para el cálculo, luego se procedió a los cálculos.

4.2.8. Cálculos

Se tomó las muestras del fruto en proceso, las cuales se pesaron y se calculó la pérdida de humedad, junto con los datos de peso obtenidos en la Facultad de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Mayor de San Andrés, haciendo uso de la fórmula de humedad en base seco, se obtuvo el dato de la humedad del sólido para las distintas horas del día.

Según Treybal (2001), la HBS es el contenido de humedad de un sólido referido a la masa seca del mismo sólido, siendo su fórmula:

$$\text{Humedad en Base Seco: } \text{HBS} = \frac{\text{Mi (g.)} - \text{Mf (g)}}{\text{Mf (g)}}$$

Luego con la formula de Humedad en base húmedo, se obtuvo el porcentaje de humedad extraída.

Indica Alvarado (2003), que es el porcentaje en peso de la humedad, expresado en base húmeda, y su fórmula es:

$$\text{Humedad en base Húmedo: } HBH = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

$$(HBH_i) - (HBH_f) = \text{humedad extraída en base húmedo}$$

Con esta última ecuación, se obtuvieron los datos de la humedad extraída, posteriormente, se interrelacionó la pérdida de humedad de las frutas con los diferentes sistemas de secadores.

De la misma manera, se realizó la interrelación de la temperatura para el deshidratado, entre secadores a través del Análisis de Varianza para el factor B (tipos de fruta).

También, se interrelacionó entre secadores, el tiempo utilizado para deshidratar; mediante gráficos de comparación, demostrando así la eficiencia de cada secador para el factor B (tipos de fruta).

El presente trabajo en su diseño experimental, se realizó bajo un arreglo factorial en un diseño completamente al azar.

Según, Rodríguez (1991), el modelo lineal aditivo utilizado para el presente trabajo de investigación es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

- Y_{ijk} = Una observación
- μ = Medida poblacional
- α_i = Efecto del i-esimo nivel del factor A
- β_j = Efecto del j-esimo nivel del factor B.
- $\alpha\beta_{ij}$ = Efecto del i-esimo nivel del factor A con el j-esimo nivel del factor B (interacción A x B)
- ε_{ijk} = Error experimental.

Donde:

A es el factor secador

A1 = sistema de secador solar convencional

A2 = sistema de secador solar tecnificado

A3 = sistema de secador a leña

B es el factor fruta deshidratada

B1 = banano

B2 = papaya

Se consideró, como base las variables de respuesta siguientes:

- Temperatura de cada horno
Variable que ayuda a determinar la eficiencia del tiempo, medida con un multitestster en grados Celsius.
- Tiempo de secado
Variable de tiempo utilizado para deshidratar medido en horas.
- Humedad de la tajada de fruto
Variable que determina la pérdida de líquido del alimento a través de pesos en gramos durante el proceso.
- Calidad de acabado de la fruta
Variable que toma como parámetro el aspecto visual comparándolo con un producto de exportación.
- Costo parcial del procesamiento de deshidratado y de secadores
Variable de relación beneficio costo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Temperaturas a Cinco Distintas Horas del Día.

5.1.1. Variable de Temperatura a las 7 a.m.

Tabla 1. Datos de la Variable Temperatura a las 7 a.m. en °C

REPETICIONES

A	B	1	2	3
1	1	15.5800	20.0000	19.7500
1	2	13.2500	12.9200	13.3300
2	1	16.5800	20.4200	24.4200
2	2	12.4200	14.1700	13.6700
3	1	45.6200	43.8700	46.6200
3	2	44.7500	44.6200	41.2500

En la tabla 1 se observa, los promedios obtenidos de los datos de las repeticiones para la variable de temperatura a las 7 a.m.

Tabla 2. Análisis de Varianza de Temperatura a las 7 a.m.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
FACTOR A	2	3157.666992	1578.833496	335.1189	3.88 **
FACTOR B	1	100.253906	100.253906	21.2796	4.75 **
INTERACCION	2	21.160156	10.580078	2.2457	3.88 NS
ERROR	12	56.535156	4.711263		
TOTAL	17	3335.616211			

C.V. = 8.43%

Para la variable temperatura de los sistemas de secador a las 7 a.m., en la tabla 2, se muestra un análisis de varianza altamente significativo, para el factor A (tipo de secador A1, A2, y A3), lo que indica que existen diferencias entre los factores en estudio (secadores).

Para el factor B (fruta), el análisis de varianza indica, también, una alta significancia que indica diferencia entre los factores de B, es decir en el tipo de fruta B1, B2.

No así, para la interacción entre ambos factores AB, donde se identifica la no significancia, que indica, que no existe interacción entre tipo de secador y fruta para la temperatura a las 7 a.m.

El coeficiente de variación registrado para esta variable de respuesta, presenta un valor aceptable de 8.43% muy inferior al 30%, lo que indica la confiabilidad de los datos en la conducción de la investigación.

Tabla 3. Medias del Factor A

FACTOR A	MEDIA	
1	15.805000	B
2	16.946665	B
3	44.45499	A

Para el factor A (tipo de secador), el valor más elevado de temperatura, como se puede observar en la tabla 3, lo determinó el factor A3 para las 7 a.m. de la mañana, mientras que los otros dos factores son similarmente bajos, Maiztegui y Sabato (1973), explican que para evaporarse las moléculas de agua quitan calor al ambiente saturado de vapor.

Tabla 4. Medias del Factor B

FACTOR B	MEDIA
1	28.095556 A
2	23.375557 A

En la tabla 4 se puede observar, que la mayor temperatura alcanzada para el factor B (fruta) la obtiene el factor B1 (Banano), seguido del valor del factor B2 (Papaya).

Tabla 5. Medias de los Tratamientos AB

FACTOR B			
FACTOR A	1	2	MEDIA
1	18.4433	13.1667	15.8050
2	20.4733	13.4200	16.9467
3	45.3700	43.5400	44.4550
MEDIA	28.0956	23.3756	25.7356

En la tabla de las medias para las 7 a.m. de la mañana, de los tratamientos AB, el mayor resultado fué alcanzado por el factor A3 (Sistema de secador a Leña) con el factor B1 (Banano) y factor B2(Papaya), y las menores cifras se vieron en el factor A1 y A2 relacionados con el factor B1 y factor B2.

Tabla 6. Comparación de Medias

TRATAMIENTO	MEDIA	
5	45.3700	A
6	43.5400	A
3	20.4700	B
1	18.4400	B
4	13.4200	C
2	13.1700	C

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

DMS = 3.8617

En la tabla de la comparación de medias para las 7 a.m. de la mañana, (tabla 6), se puede analizar, que los mayores valores alcanzados de temperatura en grados Celsius son para los tratamientos 5 (A3B1), y 6 (A3B2), luego los tratamientos 3 (A2B1), y 1 (A1B1), y finalmente los tratamientos 4 (A2B2), junto con el tratamiento 2 (A1B2).

La diferencia mínima significativa, determina significancia en cuanto a los tratamientos para la temperatura a las 7 a.m.

5.1.2. Variable de Temperatura a las 10 a.m.

Tabla 7. Datos de la Variable de Temperatura a las 10 a.m. en °C

		REPETICIONES		
A	B	1	2	3
1	1	25.4200	31.8300	34.1700
1	2	30.5800	33.9200	32.5000
2	1	29.5000	35.4200	39.4200
2	2	31.4200	31.9200	27.7500
3	1	47.1200	52.5000	53.6200
3	2	50.0000	48.2500	55.2500

La tabla 7 identifica los promedios obtenidos de los datos de las repeticiones entre los tratamientos para la variable de temperatura a las 10 a.m.

Tabla 8. Análisis de Varianza

V	GL	SC	CM	Fc	Ft
FACTOR A	2	1468.812500	734.406250	55.9409	3.88 **
FACTOR B	1	3.048828	3.048828	0.2322	4.75 NS
INTERACCION	2	31.414063	15.707031	1.1964	3.88 NS
ERROR	12	157.539063	13.128255		
TOTAL	17	1660.814453			

C.V. = 9.44%

El cuadro de la tabla 8, describe un análisis de varianza con un valor altamente significativa para el factor A, no significativo para el factor B, ni para la interacción AB.

El coeficiente de variabilidad (CV), siendo menor al 30%, nos muestra confiabilidad en el manejo del ensayo.

Tabla 9. Medias del Factor A

FACTOR A	MEDIA	
1	31.403334	B
2	32.571667	B
3	51.123333	A

La tabla 9, establece que para la media del factor A la más alta temperatura a esta hora de la mañana, es la de A3, seguido por el factor A2, y el factor A1, siendo el factor A3 el que se muestra una mejor temperatura.

Tabla 10. Medias del Factor B

FACTOR B	MEDIA	
1	38.777779	A
2	37.954445	A

La tabla 10, evidencia que no existe diferencia para el factor B (B1 y B2), teniendo ambos similitud en temperatura.

Tabla 11. Medias de Tratamientos AB

FACTOR B			
FACTOR A	1	2	MEDIA

1	30.4733	32.3333	31.4033
2	34.7800	30.3633	32.5717
3	51.0800	51.1667	51.1233

MEDIA	38.7778	37.9544	38.3661

La tabla 11 de las medias para las 10 a.m. de la mañana, de los tratamientos AB, determinan que obtuvieron el mayor resultado: el factor A3 con el factor B1 y factor B2, y las menores cifras se observaron en el factor A1 y A2 relacionados con el factor B1 y factor B2.

Tabla 12. Comparación de Medias

TRATAMIENTO		MEDIA

6	51.1667	A
5	51.0800	A
3	34.7800	B
2	32.3333	B
1	30.4733	B
4	30.3633	B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05		
DMS = 6.4464		

En la tabla 12, se observa que los tratamientos 6 y 5 alcanzan más altitud para las 10 a.m., mientras que los tratamientos 3, 2, 1 y 4 son semejantes entre sí, con una temperatura inferior a los dos anteriores tratamientos.

Para la significancia mínima se observa una diferencia entre los factores en estudio para temperatura a ésta hora de la mañana, estableciendo una superioridad estadística de los tratamientos en estudio.

5.1.2. Variable de Temperatura a las 13 p.m.

Tabla 13. Datos de la Variable de Temperatura a las 13 p.m. en °C

		REPETICIONES		
A	B	1	2	3
1	1	33.5000	36.4200	34.5800
1	2	32.8300	37.0800	36.5000
2	1	33.0000	34.5000	37.0800
2	2	33.4200	29.3300	30.3300
3	1	50.5000	57.0000	57.1200
3	2	55.7500	54.8700	57.5000

La tabla 13, identifica los promedios obtenidos de los datos de las repeticiones entre tratamientos para la variable de temperatura a las 13 p.m.

Tabla 14. Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
FACTOR A	2	848.044922	924.022461	170.9174	3.88 **
FACTOR B	1	2.066406	2.066406	0.3822	4.75 NS
INTERACCION	2	22.623047	11.311523	2.0923	3.88 NS
ERROR	12	64.875000	5.406250		
TOTAL	17	1937.609375			

C.V. = 5.65%

En la tabla 14 se observa que, el análisis de varianza para la hora 13 p.m., en que se tomaron los datos de temperatura, expresan una alta significancia entre factores A, esto muestra, que existe diferencia significativa entre secadores, no así entre factores B (fruta) en cuanto a temperatura.

El coeficiente de variación determina la confiabilidad, siendo menor al 30%, se puede decir que el trabajo de investigación para esta hora es confiable.

Tabla 15. Medias del Factor A

FACTOR A	MEDIA
1	35.151669 B
2	32.943333 B
3	55.456665 A

La tabla 15, indica claramente que la mayor temperatura es evidenciada por el factor A3 mientras que los otros dos factores A2 y A1 tienen menor temperatura siendo similares entre sí.

Tabla 16. Medias del Factor B

FACTOR B		MEDIA
1	41.522224	A
2	40.845554	A

La tabla 16, establece que no existe variación de temperatura entre los factores B, lo que implica que no inciden significativamente en los cambios para la variable temperatura.

Tabla 17. Medias de Tratamientos AB

FACTOR B			
FACTOR A	1	2	MEDIA
1	34.8333	35.4700	35.1517
2	34.8600	31.0267	32.9433
3	54.8733	56.0400	55.4567
MEDIA	41.5222	40.8456	41.1839

En la tabla 17, se observa que la temperatura es alta para el factor A3 con respecto al factor B (frutas), pero no así para el factor A1 y A2 con respecto al factor B (frutas).

Tabla 18. Comparación de Medias

TRATAMIENTO	MEDIA	
6	56.0400	A
5	54.8733	A
2	35.4700	B
3	34.8600	B
1	34.8333	B
4	31.0267	B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

DMS = 4.1368

Se puede observar, en la tabla 18, una alta temperatura para los tratamientos 6 y 5, tomando un segundo lugar los tratamientos 2, 3, 1 y 4 alcanzando menor.

La diferencia significativa mínima determina que es menor al 30%, lo que denota que los datos obtenidos son confiables estadísticamente.

5.1.4. Variable de Temperatura a las 16 p.m.

Tabla 19. Datos de la Variable de Temperatura a las 16 p.m. en °C

		REPETICIONES		
A	B	1	2	3
1	1	21.0000	30.1700	30.0800
1	2	34.0000	30.0000	29.6200
2	1	23.0000	29.5800	28.1200
2	2	32.0000	21.1700	25.9200
3	1	53.5000	55.5000	57.2500
3	2	53.7500	51.7500	54.7500

La tabla 19, determina que los promedios obtenidos de los datos de las repeticiones entre tratamientos para la variable de temperatura a las 16 p.m.

Tabla 20. Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
FACTOR A	2	2833.957031	1416.978516	105.0792	3.88 **
FACTOR B	1	1.255859	1.255859	0.0931	4.75 NS
INTERACCION	2	30.679688	15.339844	1.1376	3.88 NS
ERROR	12	161.818359	13.484863		
TOTAL	17	3027.710938			

C.V. = 10.00%

Para la tabla 20, el análisis de varianza registra una alta significancia para el factor A (secadores), lo que nos indica que existe diferencia de temperatura para las 16 p.m.

El coeficiente de variabilidad muestra que existe confiabilidad en el manejo de este proyecto, en cuanto a la temperatura tomada para esta hora.

Tabla 21. Medias del Factor A

FACTOR A	MEDIA	
1	29.144999	B
2	26.631668	B
3	54.416668	A

La tabla 21, identifica que para las medias del factor A, el factor A3 tiene mayor temperatura a diferencia de los factores A1 y A2 que muestran menor temperatura.

Tabla 22. Medias del Factor B

FACTOR B	MEDIA	
1	36.466667	A
2	36.995556	A

En la tabla 22, se observa que para las medias del factor B existe una igual incidencia de temperatura en ambos factores B1 y B2.

Tabla 23. Medias de los Tratamientos AB

FACTOR B			
FACTOR A	1	2	MEDIA
1	27.0833	31.2067	29.1450
2	26.9000	26.3633	26.6317
3	55.4167	53.4167	54.4167
MEDIA	36.4667	36.9956	36.7311

En la tabla 23, se puede analizar la diferencia de temperatura, entre los factores A3 con respecto a B1 y B2, no así para los factores A1 y A2 con respecto a B1 y B2.

Tabla 24. Comparación de Medias

TRATAMIENTO	MEDIA	
5	55.4167	A
6	53.4167	A
2	31.2067	B
1	27.0833	B
3	26.9000	B
4	26.3633	B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

DMS = 6.5333

Para la tabla 24, de medias para las 16 p.m., se observa mayor temperatura para los tratamientos 5 y 6, mientras que para los tratamientos 2, 1, 3 y 4 muestra temperatura no muy alta, con relación a los dos primeros.

La diferencia significativa mínima es menor al 30%, lo que determina que los datos obtenidos son confiables estadísticamente.

5.1.5. Variable de Temperatura a las 19 p.m.

Tabla 25. Datos de la Variable de Temperatura a las 19 p.m. en °C

		REPETICIONES		
A	B	1	2	3
1	1	20.5000	17.1700	18.4200
1	2	22.7500	18.5000	18.6200
2	1	18.2500	18.4200	18.6200
2	2	23.7500	17.5800	17.7500
3	1	48.0000	48.5000	57.0000
3	2	49.0000	47.2500	49.2500

La tabla 25, registra los promedios obtenidos de los datos de las repeticiones entre tratamientos para la variable de temperatura a las 19 p.m.

Tabla 26. Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
FACTOR A	2	3755.247070	1877.623535	235.4887	3.88 **
FACTOR B	1	0.013672	0.013672	0.0017	4.75 NS
INTERACCION	2	15.429688	7.714844	0.9676	3.88 NS
ERROR	12	95.679688	7.973307		
TOTAL	17	3866.370117			

C.V. = 9.60%

Para la tabla 26, el análisis de varianza para esta hora del día determina una alta significancia, en cuanto al factor A (secadores), no significancia para el factor B (frutas) ni para la interacción entre factores.

El coeficiente de variación indica una aceptable confiabilidad del manejo del proyecto.

Tabla 27. Medias del Factor A

FACTOR A	MEDIA	
1	19.326666	B
2	19.061666	B
3	49.833332	A

En la tabla 27, se observa claramente que la mayor temperatura para esta hora del día, es para el factor A3 siendo para los otros dos factores similarmente menores entre sí en temperatura.

Tabla 28. Medias del Factor B

FACTOR B	MEDIA	
1	29.431112	A
2	29.383335	A

En la tabla 28, se establece que no existe diferencia que aporte alguna significancia, en cuanto a temperatura para el Factor B.

Tabla 29. Medias de los Tratamientos AB

FACTOR B			
FACTOR A	1	2	MEDIA

1	18.6967	19.9567	19.3267
2	18.4300	19.6933	19.0617
3	51.1667	48.5000	49.8333

MEDIA	29.4311	29.3833	29.4072

En la tabla 29, de medias de los tratamientos AB registran la interrelación secador fruta donde no existe diferencia.

Tabla 30. Tabla de Medias

TRATAMIENTO	MEDIA	

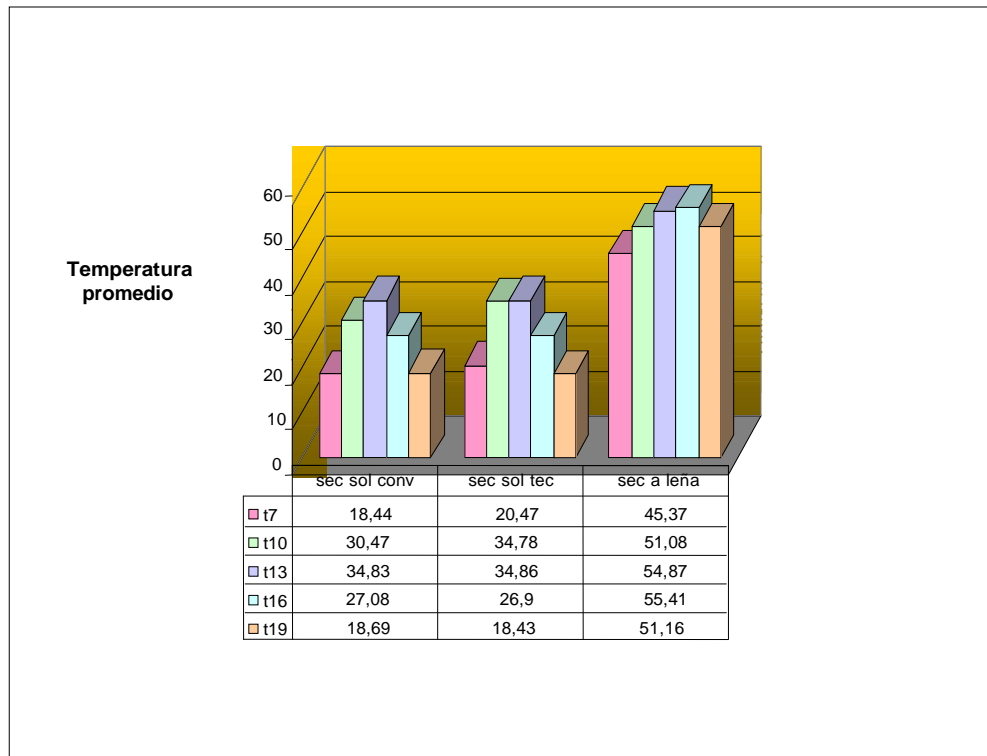
5	51.1667	A
6	48.5000	A
2	19.9567	B
4	19.6933	B
1	18.6967	B
3	18.4300	B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05		
DMS = 5.0238		

En la tabla 30, se determina mayor temperatura para los tratamientos 5 y 6, similarmente menores entre sí en temperatura, para los tratamientos 2, 4, 1 y 3 respectivamente, para las 19 p.m.

La diferencia significativa mínima es menor al 30%, lo que indica que los datos obtenidos son confiables estadísticamente.

5.1.6. Temperatura Promedio a las Cinco Diferentes Horas del Día



Gáfico1. Temperatura Promedio de los Tres Secadores Durante el Deshidratado del Banano

En el gráfico 1, se observan los promedios de los diferentes niveles de temperatura, que llegaron a alcanzar cada uno de los sistemas de secadores durante todo el proceso de deshidratado del banano, se puede establecer que el sistema de secador a leña es el que alcanzó mayor temperatura y fué más constante en mantener esa temperatura.

Los otros dos sistemas de secadores, son, son similares en sus mayores y menores temperaturas por su dependencia al calor de la luz solar.

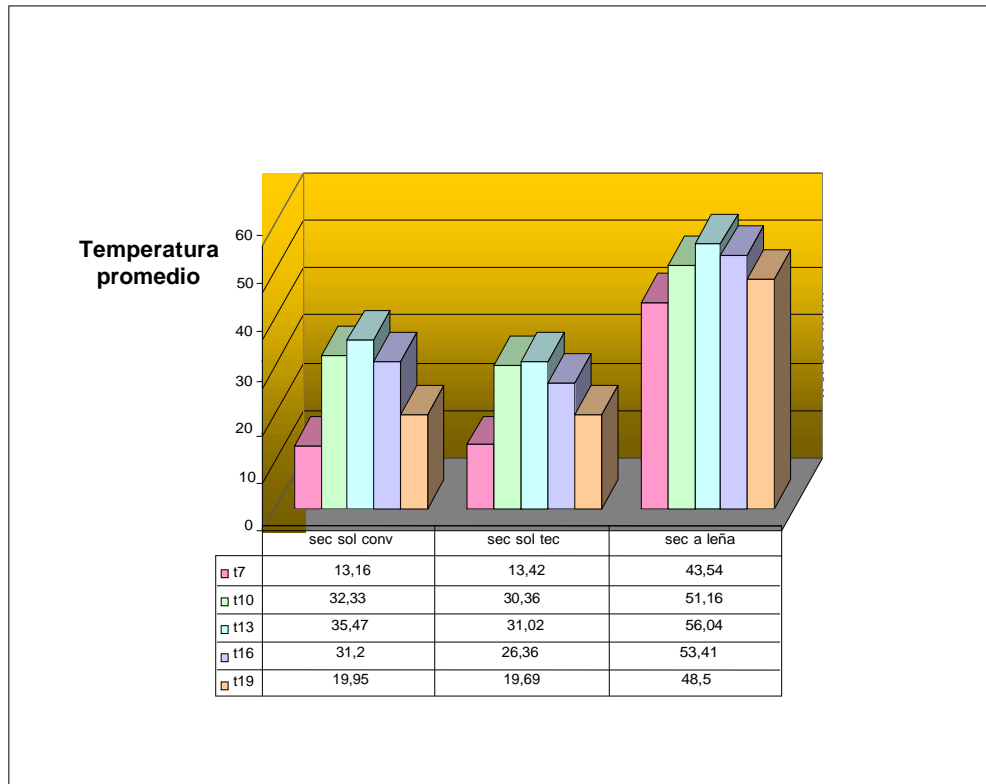


Gráfico 2. Temperaturas Promedio de los Tres secadores Durante el Deshidratado de la Papaya

El gráfico 2, identifica el porcentaje de temperatura de los tres sistemas de secadores a las cinco diferentes horas de la toma de temperatura diaria, durante el deshidratado de la papaya, se puede observar que el sistema de secador a leña alcanzó la más alta temperatura y fué constante en mantener esa temperatura.

Mientras, que los otros dos sistemas de secadores, no difieren grandemente entre sí, mostrando bajas temperaturas al inicio y al final del día.

5.2. Gráfico del Tiempo

5.2.1. Gráfico del Tiempo Promedio de para el Factor Banano.

En los siguientes gráficos, se observa el tiempo promedio que cada sistema de secador ha alcanzado como requerimiento para deshidratar el Banano.



Gráfico 3. Tiempo Promedio de Deshidratado en los Tres Sistemas de Secadores para el Factor Banano.

Este gráfico 3, determina que para el secador convencional con el factor banano, el tiempo promedio de las tres repeticiones alcanzó al término de deshidratado de 57 horas 33 minutos, siendo el valor más alto para el factor Banano de entre los tres sistemas de secadores, para las tres repeticiones del secador solar tecnificado, el tiempo promedio en que culminó su deshidratado fué de 52 horas 8 minutos.

Mientras que el tiempo promedio de las tres repeticiones para el secador a leña al final de la deshidratación fué de 27 horas 32 minutos, haciendo la mejor marca de entre los tres secadores para el factor banano.

5.2.2 Gráfico del Tiempo Promedio para el Factor Papaya

En estos gráficos, se observa el tiempo promedio que cada sistema de secador ha alcanzado como requerimiento para deshidratar la papaya.

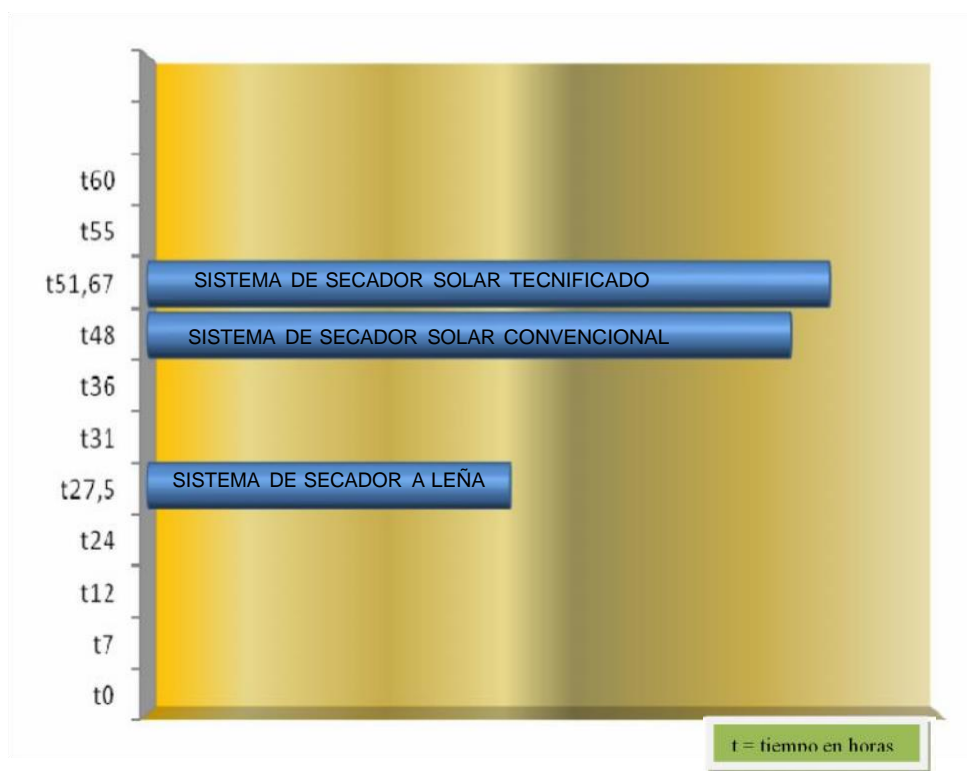


Gráfico 4. Tiempo Promedio de Deshidratado en los Tres Sistemas de Secadores para el Factor Papaya.

En el gráfico 4, se puede determinar que para el factor papaya, el secador solar convencional en su promedio de las tres repeticiones, y al término de su deshidratado alcanzó las 49 horas 15 minutos para el factor papaya, el promedio de tiempo de secado de las tres repeticiones para el sistema de secador solar tecnificado, es de 52

horas 7 minutos, siendo el tiempo más alto de entre los tres sistemas de secadores para el mismo factor, el sistema de secador a leña tiene las cifras más bajas en tiempo para el deshidratado del factor papaya en su promedio de las tres repeticiones con un valor de 27 horas 50 minutos para el factor papaya.

5.3. Tiempo Total que se Requirió para el Deshidratado

Tabla 31. Datos Variable Tiempo Total en Horas

		REPETICIONES		
A	B	1	2	3
1	1	58.7500	53.2500	60.0000
1	2	46.7500	48.0000	51.5000
2	1	56.2500	53.2500	46.7500
2	2	51.5000	55.0000	48.5000
3	1	27.5000	27.5000	25.7500
3	2	25.7500	31.0000	25.7500

La tabla 31, determina que los promedios obtenidos de los datos de las repeticiones entre tratamientos para la variable de tiempo total en horas.

Tabla 32. Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
FACTOR A	2	2554.332031	1277.166016	120.9934	3.88 **
FACTOR B	1	35.417969	35.417969	3.3554	4.75 NS
INTERACCION	2	75.863281	37.931641	3.5935	3.88 NS
ERROR	12	126.667969	10.555664		
TOTAL	17	2792.281250			

C.V. = 7.38%

En la tabla 32, el análisis de varianza para la variable tiempo de secado, identifica un Fc altamente significativo para el factor A, mostrando para el factor B, la no significancia al igual que la interacción del factor AB.

El coeficiente de variación (CV.) indica la alta confiabilidad de los datos obtenidos en la toma de muestras para el presente ensayo.

Tabla 33. Medias del Factor A

FACTOR A	MEDIA	
1	53.041668	B
2	51.875000	B
3	27.208334	A

En la tabla 33, se puede observar que las medias del factor A, muestra que el menor tiempo de secado empleado para el deshidratado fué para el factor A3 y el menor tiempo empleado para deshidratar fué el factor A2 y el factor A1.

Tabla 34. Medias del Factor B

FACTOR B	MEDIA	
1	45.444443	A
2	42.638889	A

La tabla 34, identifica que el tiempo que tomó para deshidratar fué igual para el factor B2 y para el factor B1, ya que no son significativos para la variable tiempo total que se requirió para deshidratar.

Tabla 35. Medias de Tratamientos AB

FACTOR A	FACTOR B		MEDIA
	1	2	
1	57.3333	48.7500	53.0417
2	52.0833	51.6667	51.8750
3	26.9167	27.5000	27.2083
MEDIA	45.4444	42.6389	44.0417

Para la tabla 35, tabla comparativa de medias de tratamientos AB, se puede observar que el menor tiempo de secado lo obtuvo el factor A3, no así para los factores A1 y A2 con respecto a los factores de B.

Tabla 36. Comparación de Medias del Factor A

TRATAMIENTO	MEDIA	
1	53.0417	B
2	51.8750	B
3	27.2083	A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05
DMS = 4.0873

Para la tabla 36, se puede determinar, que el menor tiempo empleado para el secado fué el factor A3, luego, tomando mayor tiempo, están los otros dos factores A2 y A1.

Para la prueba de diferencia significativa mínima, la variable tiempo total en horas para el deshidratado, muestra una respuesta significativamente positiva al factor estudiado para el nivel de significancia del 5%.

5.4. Humedad de la Tajada del Fruto en Base Seco

5.4.1. Curva de Comparación de Secado Humedad en Base Seco (HBS) del Banano con Relación al Tiempo.

En esta prueba se ha evaluado la obtención de sólido de la fruta, en función del tiempo.

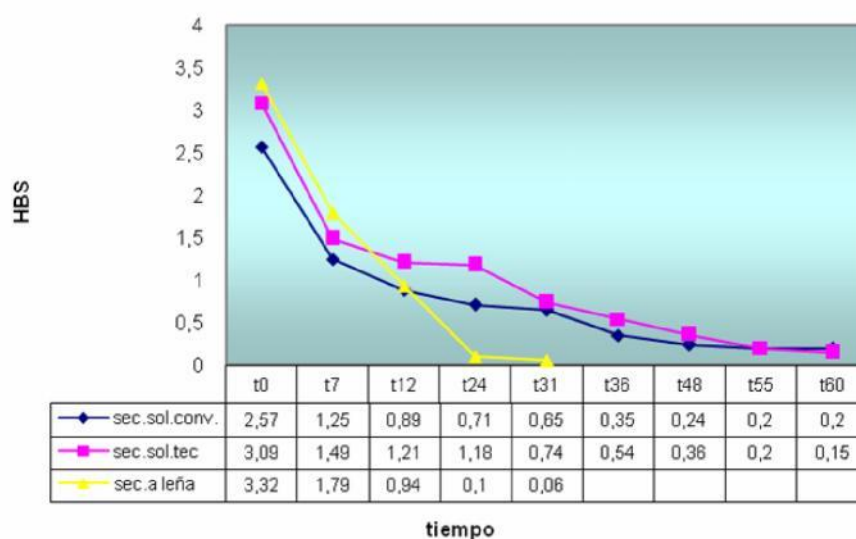


Gráfico 5. Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS del Banano en la Repetición 1 con Relación al Tiempo
(Valores de pérdida de peso)

El gráfico 5, determina que para banano, en el secador solar convencional, un descenso de humedad rápida desde las cero horas hasta las 7 primeras horas del inicio de deshidratado moderando su descenso hasta las 31 horas, volviendo a aumentar la velocidad de secado solo hasta las 36 horas para nuevamente aligerar su descenso

hasta las 48 horas, desde donde el deshidratado es mínimo finalizando a las 60 horas con una humedad en base seco de 0.2 unidades.

Por otra parte, el secador solar tecnificado muestra un acelerado descenso en su deshidratado durante las 7 primeras horas, de las cero horas a las 7 horas, disminuyendo levemente hasta las 12 horas de allí tiende a mantener su humedad hasta las 24 horas, aumentando un descenso ligero hasta las 55 horas desde ese instante termina su secado a las 60 horas con una humedad en base seco de 0.15 unidades.

Para el secador a leña, se determina que el descenso de humedad es violento, varía levemente de cero a las 24 horas deteniendo súbitamente su velocidad para finalizar su deshidratado a las 31 horas con una humedad en base seco de 0.05 unidades.

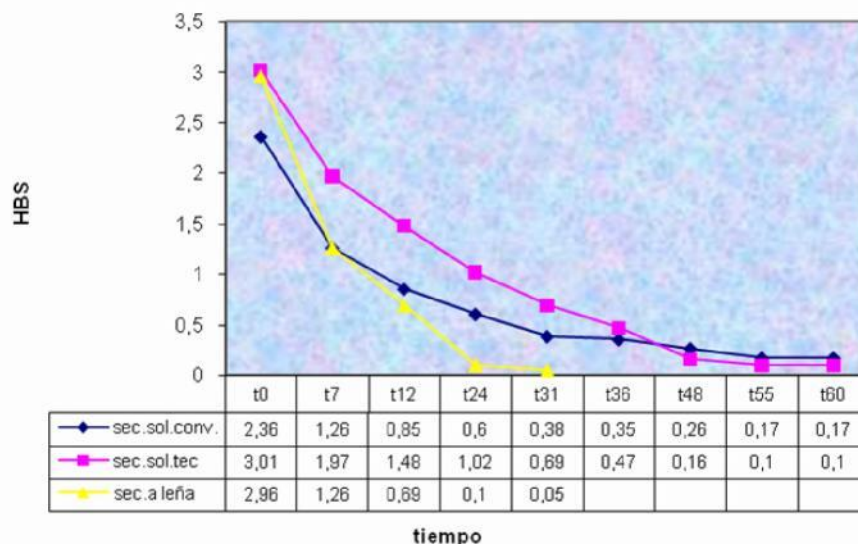


Gráfico 6. Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS del Banano en la Repetición 2 con Relación al Tiempo (Valores de pérdida de peso)

En el gráfico 6, se puede observar que el secador solar convencional inicia el deshidratado rápidamente de las cero horas hasta las 7 horas desde donde aligera la

velocidad formando una curva hasta las 36 horas donde muestra un descenso muy lento hasta terminar su deshidratado a las 60 horas, con una humedad en base seco de 0.17 unidades.

Este gráfico también muestra que el secador solar tecnificado mantiene una constante pero armónica curva descendente de deshidratación desde su inicio del proceso a las cero horas hasta las 36 horas donde se observa un ligero incremento de velocidad hasta las 48 horas para luego aminorar y finalizar su proceso a las 55 horas donde se estabiliza la velocidad y mantiene su unidad de humedad en base seco de 0.1 hasta las 60 horas.

Para el secador a leña, la gráfica identifica un brusco descenso de deshidratado desde las cero horas hasta las 7 horas donde evidencia un cambio en la curva de descenso manifestando una continua ligera reducción de deshidratación desde las 7 a las 24 horas del inicio del proceso, atenuando la velocidad al mínimo de las 24 a las 31 horas donde culmina su deshidratado con una humedad en base seco de 0.05 unidades.

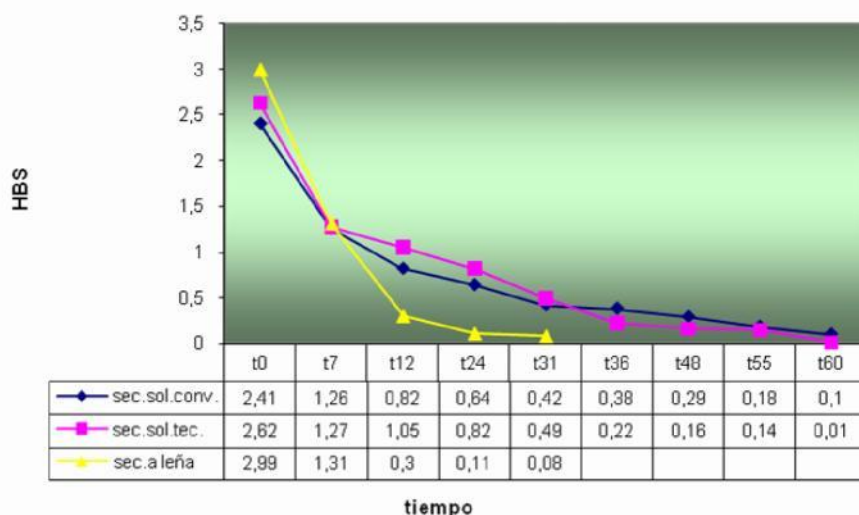


Gráfico 7. Curva de Comparación de los Tres sistemas de Secadores para HBS del Banano en la Repetición 3 con Relación al Tiempo (Valores de pérdida de peso)

El gráfico 7, determina para el secador solar convencional un descenso inicial repentinamente violento de las cero horas a las 7 primeras horas de su ingreso a la cabina de deshidratado.

Luego, reduce ésta velocidad paulatinamente hasta las 31 horas acentuándose ésta ligereza a casi mantenerse en un peso determinado hasta las 48 horas de donde aumenta su velocidad ligeramente hasta las 55 horas para terminar su proceso a las 60 horas, con una humedad en base seco de 0.1 unidades.

Para el secador solar tecnificado, la gráfica revela una deshidratación relativamente violenta, parecida a la del secador solar convencional en su inicio, las 7 primeras horas de iniciarse el proceso, con un cambio brusco al disminuir su velocidad de secado de las 7 a las 36 horas.

Luego, disminuye aun más lentamente la velocidad de deshidratado en forma continua hasta las 55 horas, para terminar su deshidratado con una pequeña aceleración de velocidad hasta las 60 horas donde culmina su proceso con una humedad en base seco de 0.01 unidades.

El secador a leña determina en esta gráfica, su precipitado descenso de humedad desde las cero horas de ingresar a la cámara de deshidratado hasta las 12 horas a partir de la cual cambia disminuyendo abruptamente su velocidad de deshidratado de las 12 horas a las 24 horas, decayendo aun más la velocidad al termino del deshidratado, esto, hasta las 31 horas donde consume su deshidratado con una humedad en base seco de 0.08 unidades.

5.4.2. Curva de Comparación de Secado Humedad en Base Seco (HBS) de la Papaya con Relación al Tiempo.

En esta prueba se ha evaluado la obtención de sólido de la fruta, en función del tiempo.

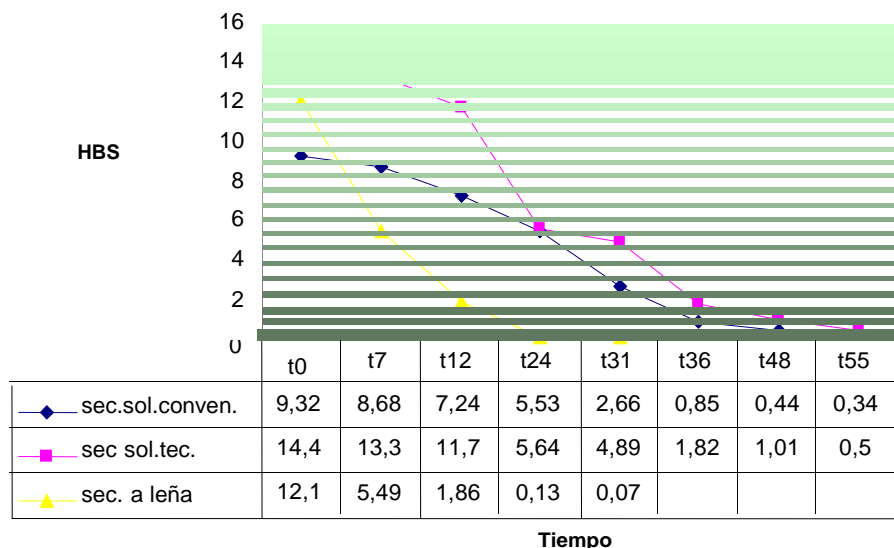


Gráfico 8. Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS de la Papaya en la Repetición 1 con Relación al Tiempo (Valores de pérdida de peso)

En el gráfico 8, se puede observar que el contenido de humedad en base seco difiere desde un inicio para los tres secadores, éstos, a las cero horas de haber sido colocados en las cabinas de secado, inician con un deshidratado muy alto.

Luego se puede analizar que en el secador solar tecnificado disminuye su humedad lentamente para las 12 horas de haber ingresado a deshidratar, donde incrementa su deshidratado vertiginosamente hasta las 24 horas del ingreso a la cabina.

Luego lentamente llega a las 31 horas, volviendo a aumentar el deshidratado hasta las 36 horas, para decrecer en su velocidad y finalizar su deshidratado a las 55 horas, observándose que el peso del sólido restante es el más alto de entre los tres.

El secador solar convencional, muestra su pasividad en casi todo su proceso de deshidratado, su mayor momento de deshidratación se observa desde las 31 horas a las 36 horas desde su inicio llegando a su término a las 55 horas, mientras que el secador a leña, determina un deshidratado agresivo las 7 primeras horas luego, decae la velocidad levemente de las 7 a las 24 horas habiendo terminado su proceso a las 31 horas.

De este modo podemos indicar que para la primera repetición de deshidratado de banana en los tres secadores, el secador que domina por su mejor eficiencia es el de leña, siguiéndole el secador solar convencional y por último el secador solar tecnificado.

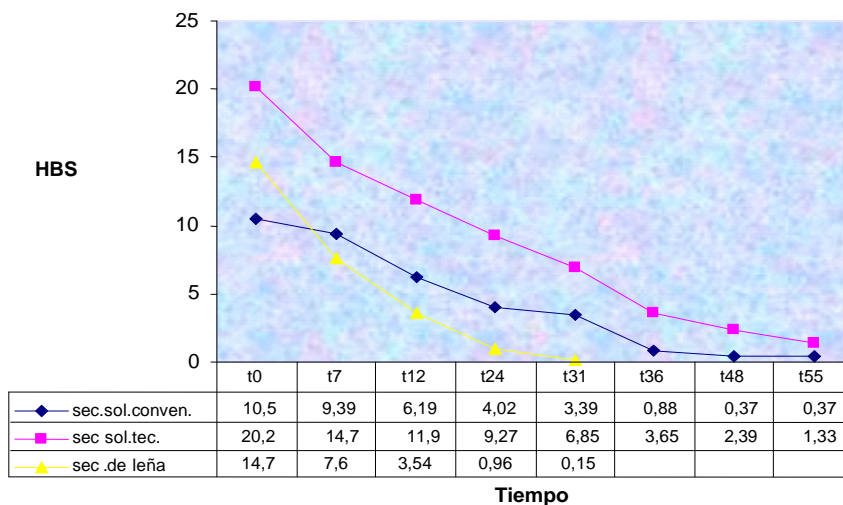


Gráfico 9. Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS de la Papaya en la Repetición 2 con Relación al Tiempo (Valores de pérdida de peso)

En éste gráfico 9, se puede observar que, el secador solar convencional sigue teniendo un deshidratado lento desde las cero horas a las 7, con pequeños aumentos de velocidad de 7 a 24 horas, casi deteniéndose el deshidratado de 24 horas a las 31 horas, esto posiblemente causado por el contenido elevado de vapor o humedad que suele concentrarse en las cabinas durante el proceso de deshidratado, comenzando nuevamente la deshidratación de las 31 horas, a las 36 horas de iniciado su ingreso a la cabina del secador, para llegar lentamente a las 55 horas a su término quedando 0.37 unidades como humedad en base seco.

Mientras que el secador solar tecnificado muestra una casi constante velocidad de secado con un ligero aumento a su inicio de ingresar en la cabina de secado, terminando a las 55 horas su proceso de deshidratación con una humedad en base seco de 1.33 unidades.

El secador a leña indica que en su proceso de secado una casi constante velocidad de secado desde su inicio, a partir de las cero horas las 12 horas es casi constante, teniendo una ligera merma de velocidad de las 12 hasta las 24 horas para finalmente terminar su proceso a las 31 horas resultando un residuo sólido de 0.15 unidades.

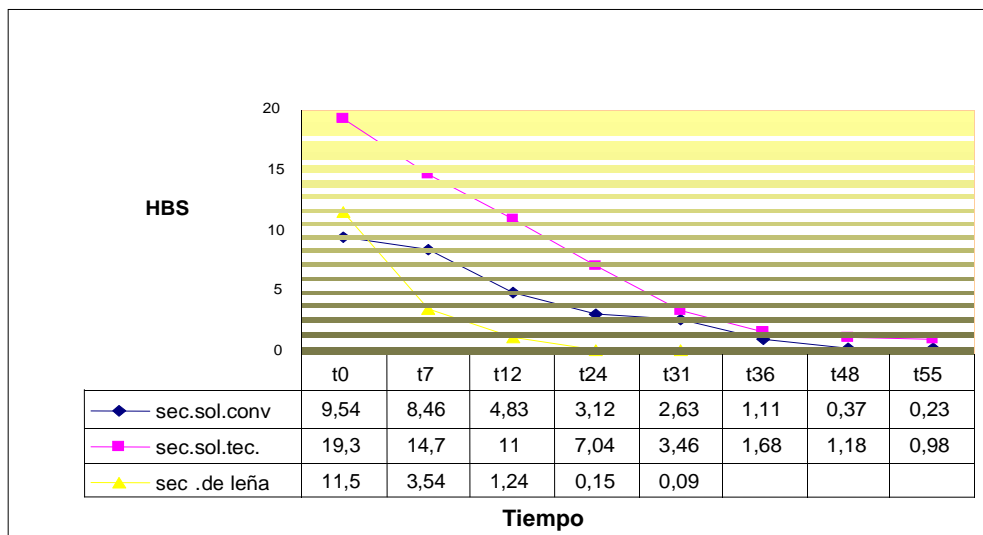


Gráfico 10. Curva de Comparación de los Tres Sistemas de Secadores para HBS de la Papaya en la Repetición 3 con Relación al Tiempo (Valores de pérdida de peso)

El gráfico 10, representa la tercera repetición de deshidratado de papaya para los tres secadores, en dicho gráfico se puede observar que el secador solar convencional lleva un lento proceso desde el inicio, es decir de las cero horas a las 7 horas de ingresada la fruta en el secador, posteriormente un ligero aumento de velocidad de deshidratado, hasta las 24 horas volviendo a mantener negativamente su lentitud hasta las 31 horas.

Luego, un ligero cambio positivo hasta las 35 horas, entrando al final del deshidratado entre las 48 a 55 horas, advirtiéndose una humedad en base seco de 0.23 unidades.

La curva graficada para el secador solar tecnificado, nos muestra una proporcionalidad en descenso de humedad de la papaya desde las cero horas a las 31 horas, a partir de allí, atenúa la velocidad de secado hasta las 48 horas; a partir de ese momento el deshidratado termina a las 55 horas con una humedad en base seco de 0.98 unidades siendo esta la mayor entre los tres factores en estudio.

En la gráfica se identifica que el secador a leña, tiene un violento deshidratado desde las cero horas de su ingreso a la cabina del secador hasta las 7 primeras horas, aligerando el descenso hasta las 24 horas donde casi completa el deshidratado.

Desde ese momento se observa un mínimo descenso, lo que muestra la conclusión del deshidratado por el secador al término de las 31 horas con una humedad en base seco de 0.09 unidades.

5.5. Humedad Extraída de la Tajada del Fruto en Base Húmedo (HBH).

En ésta prueba, se ha evaluado la pérdida porcentual de humedad.

Tabla 37. Datos de la Variable Humedad Extraída en Base Húmedo

		REPETICIONES		
A	B	1	2	3
1	1	59.1000	60.4900	61.1200
1	2	64.2500	64.5500	71.8200
2	1	68.2500	66.4000	58.1800
2	2	68.7300	43.9100	58.2400
3	1	62.1400	57.7000	64.0300
3	2	68.8600	80.2300	70.0500

En la tabla 37, se puede observar los promedios de los datos de pérdida de humedad del factor fruta en base húmeda.

Tabla 38. Análisis de Varianza

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft	
FACTOR A	2	129.156250	64.578125	1.5313	3.88	NS
FACTOR B	1	61.335938	61.335938	1.4545	4.75	NS
INTERACCION	2	292.359375	146.179688	3.4663	3.88	NS
ERROR	12	506.054688	42.171223			
TOTAL	17	988.906250				

C.V. = 10.18%

La tabla 38 de análisis de varianza determina la no significancia para el factor B (sistemas de secador), también la no significancia para el factor B (fruta), así como para la interacción entre factores A y B.

El coeficiente de variabilidad expresa confiabilidad en el manejo del trabajo de investigación.

Tabla 39. Medias del Factor A

FACTOR A	MEDIA
1	63.555004
2	60.618332
3	67.168335

La tabla 39, de medias del factor A indica una diferencia mínima entre sistemas de secador respecto a la humedad extraída.

Tabla 40, Medias del Factor B

FACTOR B	MEDIA
1	61.934441
2	65.626671

En la tabla 40, se analiza las medias del factor B en las que se expresa una diferencia mínima entre frutas para la humedad extraída.

Tabla 41. Medias de Tratamientos AB

		FACTOR B		
FACTOR A	1	2		MEDIA
1	60.2367	66.8733		63.5550
2	64.2767	56.9600		60.6183
3	61.2900	73.0467		67.1683
MEDIA	61.9344	65.6267		63.7806

La tabla 41, de medias de tratamientos AB muestra que las medias tienen datos que no aportan a una significancia para la interacción Sistemas de Secador y tipos de fruta.

5.5.1 Humedad Extraída.

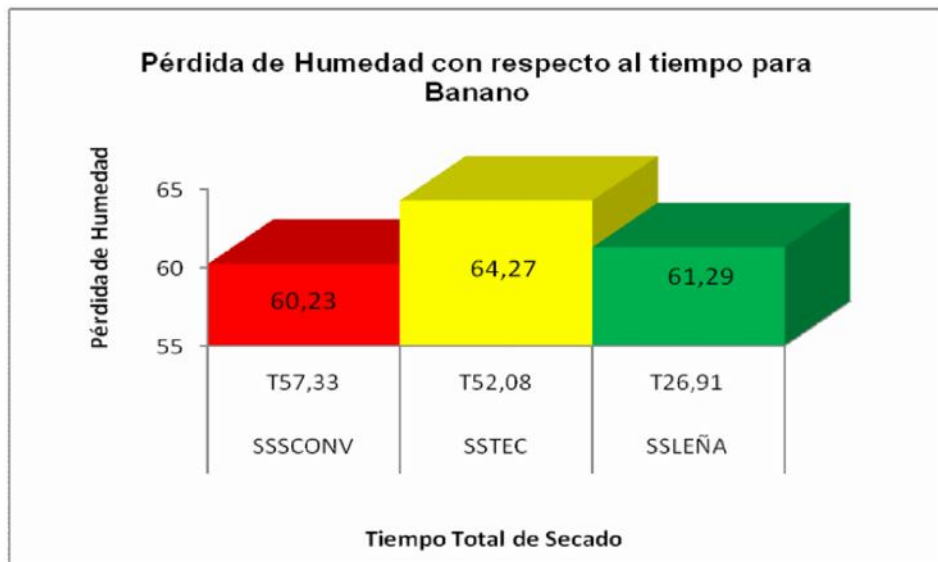


Gráfico 11. Humedad Extraída del Banano

El gráfico 11, determina la relación de pérdida de humedad en base Húmedo respecto al tiempo de secado total entre sistemas de secadores, donde se puede evidenciar la diferencia de pérdida de humedad para el factor Banano.

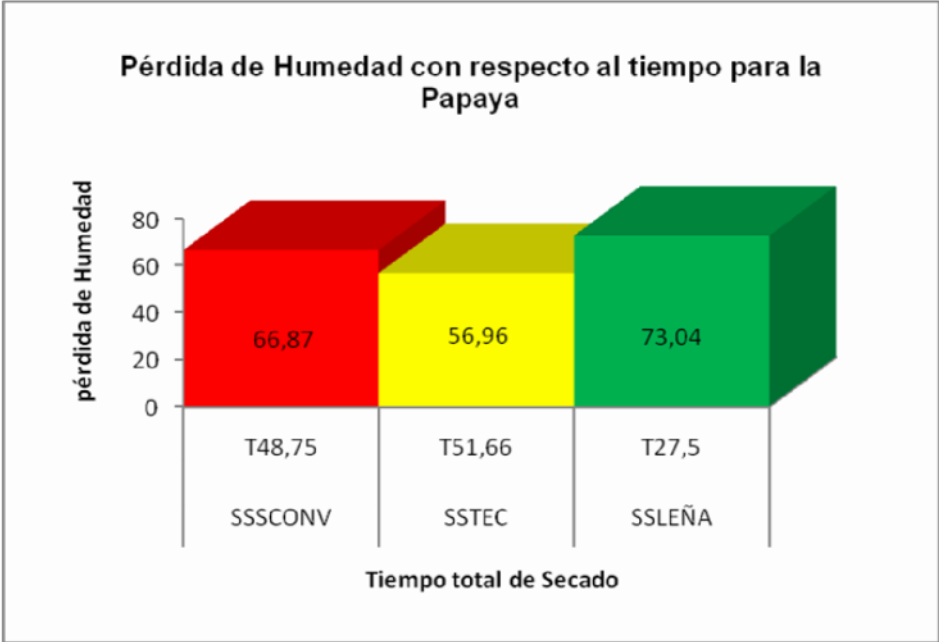


Gráfico 12. Humedad Extraída de la Papaya.

El gráfico 12, indica que para el factor papaya, la diferencia de pérdida de humedad entre sistemas de secadores con respecto al tiempo total sí tiene significancia.

5.6. Comparación visual de calidad de las frutas con un producto comercial

5.6.1. Comparación visual de la calidad del producto final en Banano para los tres tipos de sistemas de secador con un producto comercial.



Empresa "Difrut" de frutas deshidratadas, producto utilizado al azar para éste proyecto de tesis.

En los dos primeros sistemas, (imágenes 1 y 2), se puede observar el tono más oscuro de los bananos, que da una apariencia poco apetitosa, la imagen 3, determina que, del sistema de secador a leña se obtuvieron productos deshidratados de mejor apariencia visual, por lo tanto, más apetecible y comparando con la imagen 4, se puede observar cierta aproximación a un producto comercial.

5.6.2. Comparación visual de calidad del producto final en papaya para los tres tipos de sistemas de secador con un producto comercial.



Empresa "Difrut" de frutas deshidratadas, producto utilizado al azar para éste presente trabajo de tesis.

En las imágenes de comparación visual, se puede observar que los dos primeros sistemas de secadores de las imágenes 5 y 6, no proporcionan un color convenientemente atractivo para su consumo, mientras que la imagen 7 del Sistema de Secador a leña, refleja un mejor tono de color, más atractivo que los otros, y comparándolo con la imagen 8 distinguimos una aproximación con el producto comercial.

5.7 Estudio Económico parcial

Tabla 42. Relación Beneficio Costo

	semana 1	semana 2	Semana 3	semana 4	semana 5
Costos de Inversión	Precio Bs	Precio Bs	Precio Bs	Precio Bs	Precio Bs
Secadores					
Secador solar Convencional	306,0 Bs				
Secador solar Convencional Tecnificado	612,6 Bs				
Secador a Leña	492,6 Bs				
Frutas	Precio/semana				
Banano	15.0 Bs				
Papaya	36,0 Bs				
Beneficios	Ben/Semana				
Banano	375,03 Bs				
Papaya	130,05 Bs				
Beneficio Total	505,53	505,53	505,53	505,53	505,53
Costos de fruta fresca	51	51	51	51	51
Costos de Inversión	1407,8	905,08	-349,77	206,26	660,79
Relación B/C	-905,8	-349,77	206,26	660,79	1115,32

En la tabla 42 se observa que el costo de inversión para el presente trabajo de investigación es de 1407.8 Bs, siendo que el costo de fruta fresca por semana es de 51 Bs y la utilidad esperada de fruto seco es de 505.53Bs, con un aporte de 375.03 Bs de Banano, y 130.5 Bs de Papaya.

La relación Beneficio costo muestra que, para la semana 3 de producción se habrá amortizado el costo de inversión, y para la semana 5 la utilidad obtenida es de 1115.32 Bs.

Tabla 43. Precio por semana de secado

Tipos de Secador	Horas de secado	Veces de secado / semana	Producción por vez de c/secado (g)	Producción semanal en (g)	Ganancia semanal (Bs.)
Sec. Sol. Conv. Banano	57.33	3	420	1260	113.4
Sec. Sol. Tec. Banano	52.08	3	349	1047	94.23
Sec. A Leña Banano	27.32	6	310	1860	167.4
					375.03
Sec. Sol. Conv. Papaya	49.15	3	145	435	43.5
Sec. Sol. Tec. Papaya	52.07	3	120	360	36
Sec. A Leña Papaya	27.5	6	85	510	51
					130.5

En la Tabla 43 se advierte que el secador que produce mayor cantidad de veces es el de leña a comparación de los secadores tecnificados y convencional tanto para la Papaya, como el Banano.

6. CONCLUSIONES

1. La eficiencia del tiempo de secado promedio total, tiene una estrecha relación con la variable de respuesta por lo tanto se puede decir que de los tres sistemas de secadores, el que presenta una mejor respuesta al tiempo de secado es el sistema de secador a Leña (A3), con un promedio de secado para el factor Banano (B1) en las tres repeticiones de 27.32 horas, y para el factor Papaya (B2) de 27.50 horas.
2. Los Sistemas de Secadores Solares Convencional (A1) y Tecnificado (A2), tuvieron una respuesta para el factor Banano (B1) de 57.23 horas y 52.08 horas respectivamente, y para el factor Papaya (B2) de 49.15 y 52.07 horas, lo cual indica que la variable de respuesta tiempo entre éstos dos sistemas no ha sido significativo, pero con respecto al Sistema de Secador a Leña (A3), sí hubo significancia, por lo tanto, se ha obtenido un valor positivo.
3. El sistema de secador que ha alcanzado más alta temperatura fué, el Sistema de Secador a Leña (A3), en sus tres repeticiones, con un promedio para el factor Banano (B1) de 55.4 °C a las 16 p.m. de la tarde, y para el factor Papaya (B2) de 56.04 °C para las 13 p.m. de la tarde, lo que indica que en éste tiempo se alcanzó las mayores temperaturas para éste sistema.
4. Las temperaturas más elevadas alcanzadas por los Sistemas de Secadores Solares Convencional (A1) y Tecnificado (A2) en sus tres repeticiones, para el factor Banano (B1) obtuvieron los siguientes resultados: 34.8 °C a las 13 p.m. y 34.8 °C a las 13 p.m. respectivamente, concluyendo que no existe una diferencia significativa para éstos dos sistemas con relación al factor Banano (B1).
5. Para el factor Papaya (B2), las temperaturas más elevadas para el sistema de Secador Solar Convencional (A1) fueron de 35.47 °C a las 13 p.m. y para el Sistema de Secador Solar Tecnificado (A2) de 31.0 °C a las 13 p.m. de la tarde,

existiendo una leve variación entre éstos dos sistemas de secadores, muy distintas a las alcanzadas por el Sistema de Secador a Leña (A3).

6. La calidad del fruto seco, se basa en la mayor pérdida de humedad en el menor tiempo posible de secado, por lo tanto se puede decir que para el factor Banano (B1), el Sistema de Secador a Leña (A3) obtuvo los mejores productos con una humedad extraída del 61.29 % en un tiempo de 27.31 horas y con las mejores características de secado y para el factor Papaya (B2) de 73.04 % en un tiempo de 27.5 horas.
7. Para el factor Banano (B1), el Sistema de Secador Solar Convencional (A1) obtuvo el peor producto, con una humedad extraída de 60.23 % en un tiempo de 57.33 horas, así también el Sistema de Secador Solar Tecnificado (A2) para el factor Papaya (B2) con una humedad extraída de 56.96 % en un tiempo de 52.06 horas.
8. La calidad de deshidratado en los Sistemas de Secadores Convencional (A1) y Tecnificado (A2) con respecto al factor frutas, se destacan como aceptables, y buena para el Sistema de Secador a Leña (A3) comparado con un producto comercial de exportación.
9. Finalmente, el mayor costo de inversión de 612.6 Bs., fué obtenido por el Sistema de Secador Tecnificado (A2), y una ganancia semanal de 94.23 Bs. para el factor Banano (B1), y de 36 Bs. para el factor Papaya (B2), mientras que, con una inversión de 492.6 Bs. el Sistema de Secador a Leña (A3) proporciona un mayor rendimiento de 167.4 Bs. para el factor Banano (B1) y de 51 Bs. para el factor Papaya (B2), tomando en cuenta que ninguno de los sistemas de secadores se utilizaron a su máxima capacidad, por lo que podrían duplicar su rendimiento.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda un estudio bromatológico de la pérdida de nutrientes para los diferentes sistemas de secadores.
- Un estudio con otras variedades de frutas.
- Se sugiere hacer un estudio del efecto de los diferentes sistemas de secadores de mayores dimensiones.
- Se realicen estudios complementarios de los sistemas de secadores a distintos pisos ecológicos.
- Finalmente, hacer una evaluación económica financiera de la comercialización de banano y papaya deshidratados.

8. BIBLIOGRAFIA

ALVARADO, J. 2003. Control de calidad y Análisis de alimentos. UMSA. La Paz Bolivia. Ed. Kivigin. p. 37-38.

ARDAYA, D. y KODENA, Y. 1999. Frutas Cultivadas en Bolivia. CIAT. Santa Cruz - Bolivia. p. 99-101, 119-123, 137-140.

CEPROBOL. 2006. (Datos de exportación) Proporcionado por el Centro de Promoción Boliviana.

CHARDLEY, H. 1999. Tecnología de Alimentos. Editorial Limusa. México - DF. 8va. Impresión. p. 167-205.

DESROSIER, W. 2002. Conservación de Alimentos. Editorial Continental. México -DF. p. 170-186.

FAO. 1993. Procesamiento de Frutas y Hortalizas. Oficina Regional de la FAO en América Latina y El Caribe. Santiago - Chile. P 74-82.

GHEZÁN, G. 1997. El cambio global y el desarrollo tecnológico agropecuario y agroindustrial del cono sur IICA. Montevideo- Uruguay. p. 53-54.

HOBSON, P. 1975. Conservación de frutas y Vegetales. Ed. Albatros. Buenos Aires – Argentina. p. 1-3.

GMI. 2007. (Datos de Ubicación Geográfica) Proporcionado por el Gobierno Municipal de Irupana.

IBARZ, J. y BABOR, J. 1997. Química General Moderna. Ed. Época, S.A. 7ma. ed. México – DF. p. 135-144

KUCHARSKY, M J. 1998. Optimización Técnica del Secado. La Paz – Bolivia. p. 4-24.

La Agencia para el Desarrollo Internacional, 1965. Alimentos y Deshidratación. México- DF. p 1-2.

LÓPEZ, N. 2002. Preelaboración y Conservación de Alimentos. Ed. Síntesis. Madrid – España. p. 233-240.

MAIZTEGUI, A. y SABATO, J. 1973. Física I. Ed. Kapeluz. Buenos Aires – Argentina. p. 371-395.

MEYER, M R. 2002. Elaboración de Frutas y Hortalizas. México - DF. p. 79-83.

MISH, F. 2005. Dictionary. Merriam-Webster's Collegiate Inc. Springfield, MA. 11th ed. USA.

MOHAMMED, B. Y JACKSON, H. 1969. Secado al Sol de Frutas y Hortalizas. Dirección de servicios Agrícolas FAO. p. 1-4.

ORDOÑEZ, P. J. 1998. Tecnología de Alimentos. Madrid- España. p. 305.

POTTER, N. 2007. La Ciencia de los Alimentos. Ed. Edutex. S.A. NY-USA. p. 233, 270-275.

RODRIGUEZ, J. 1991. Métodos de Investigación Pecuaria. Ed. Trilla. México- DF. p. 100-104.

SENAMHI, 2007. (Datos Meteorológicos) proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

SOUTHGATE, D. 1992. Fruits and Vegetables. Agricultural and Food Research Council's Institute. Zaragoza-España. Edición en Ingles. p 3-16.

TREYBAL, R. 2001. Operaciones de Transferencia de Masa. Ed. McGaw-Hill. 2da ed. UNAM-México. p. 728-729.

VASQUEZ, P. YAÑEZ, J., y ALVAS, M 1987. Manual Silvo Agropecuario. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima-Perú. p. 1-58.

VICE MINISTERIO DE ASUNTOS CAMPESINOS Y AGOPECUARIOS, 2004. Tabla de Exportaciones de Bolivia en Frutos secos y Mezcla de frutos secos.

ANEXOS

Cuadro de la composición química del Banano

ANEXO 1

nutrientes (por 100 g)	Banana fresca
Proteínas	1.15 g
Materias grasas	0.42 g
Carbohidratos	19.36
Fibra	0.36
Cenizas	0.41
Calcio	9.0 mg
Fósforo	33.0 mg
Hierro	0.8 mg
Calorías	77 cal
Vitamina A	9 mc g
Vitamina C	24.5 mg

Fuente: Tabla de Composición de Alimentos Bolivianos.

Laboratorio de Bioquímica Nutricional-MPSSP

Cuadro de la composición química de la Papaya

ANEXO 2

Nutrientes (por 100 g)	Papaya fresca
Proteína	0.46 g
Materia gasa	0.10 g
Carbohidratos	10.99 g
Fibra	0.64 g
Ceniza	0.52
Calcio	22.0 mg
Fósforo	15.0 mg
Hierro	0.4 mg
Calorías	42 cal
Vitamina A	95 mcg
Vitamina C	56 mg

Fuente: Tabla de Composición de Alimentos Bolivianos.

Laboratorio de Bioquímica Nutricional-MPSSP