



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE QUÍMICO-FARMACOBIOLOGÍA**

Tesis titulada:

**Evaluación de propiedades sensoriales, texturales y de control de calidad
sanitaria en plátano (*Musa paradisiaca*) deshidratado por un proceso de secado
solar**

Que para obtener el título de Químico farmacobiólogo presenta

p. Q.F.B. Vania Marilyn Marín Rangel

ASESORES:

**DR. HÉCTOR EDUARDO MARTÍNEZ FLORES
L.F.M. JULIO VARGAS MEDINA**



ENERO DEL 2008

ÍNDICE	Pág.
1.0 RESUMEN.....	1
2.0 INTRODUCCIÓN.....	2
3.0 ANTECEDENTES.....	4
3.1 Generalidades de la planta del plátano.....	4
3.1.1. Morfología y taxonomía.....	4
3.2. Variedades del plátano.....	5
3.3. La deshidratación.....	6
3.3.1. Deshidratación solar de frutos.....	6
3.3.2. Cinética de secado.....	8
3.3.3. Control sanitario durante el proceso de deshidratación solar.....	10
3.3.4. Descomposición de los alimentos.....	10
3.3.4.1. Análisis microbiológico.....	11
3.4. Vida útil.....	12
3.5. Análisis sensorial.....	12
3.5.1 Características organolépticas de la fruta.....	13
3.5.2 Degustación y sus tipos.....	13
3.5.3. Análisis sensorial de los productos deshidratados.....	14
3.5.4. Pruebas sensoriales que se le realizan a los productos.....	14
deshidratados	
3.5.5. Tipos de pruebas.....	14
4.0. HIPOTESIS.....	17
5.0. OBJETIVOS.....	18
5.1. Objetivo general.....	18
5.2 Objetivos particulares.....	18
6.0. MATERIALES Y METODOS.....	19
6.1. Materia prima.....	19
6.2. Métodos.....	19

	Pág.
6.2.1 Determinación de °Brix.....	19
6.3. Secado solar del plátano.....	19
6.3.1. Descripción del equipo de secado solar.....	19
6.3.2. Descripción del equipo de deshidratación solar de tipo directo.....	20
6.3.3. Descripción del equipo de deshidratación solar de tipo indirecto...	20
6.3.4. Descripción del equipo de deshidratación solar mixto.....	21
6.3.5. Proceso de secado.....	22
6.4 Análisis microbiológico.....	22
6.5. Análisis sensorial.....	23
6.5.1. Formulario para el análisis sensorial para el plátano deshidratado.	24
6.5.2. Determinación de textura.....	25
6.5.3 Determinación de humedad.....	26
7.0 RESULTADOS.....	27
7.1 Secado solar.....	27
7.2 Cinética de secado del deshidratador solar mixto.....	32
7.3 Análisis microbiológico.....	40
7.4. Análisis sensorial.....	42
8.0 CONCLUSIONES.....	46
9.0. BIBLIOGRAFIA.....	47
10.0 ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Tipos de pruebas sensoriales realizadas en alimentos.....	15
Cuadro 2. Grados brix del plátano fresco.....	27
Cuadro 3. Comparación de pérdida de peso en los diferentes tipos de..... deshidratadores	30
Cuadro 4. Datos de la jornada de secado: temperatura y peso.....	33
Cuadro 5. Datos de la jornada de secado Radiación y Humedad.....	34
Cuadro 6. Cálculos de la eficiencia térmica del proceso.....	39
Cuadro 7. Resultados de análisis microbiológico.....	41
Cuadro 8. Resultados del análisis sensorial.....	44
Cuadro 9. Resultados de Perfil de sabor.....	45
Cuadro 10. Resultados de la jornada de Febrero del 2007: peso y..... temperatura	50
Cuadro 11. Resultados de radiación y humedad.....	51
Cuadro 12. Resultados semana cero de almacenamiento.....	55
Cuadro 13. Resultado semana cuatro de almacenamiento.....	56
Cuadro 14. Resultados semana 8 de almacenamiento.....	57
Cuadro 15. Resultados semana 16 de almacenamiento.....	58
Cuadro 16. Sensorial semana 0.....	61
Cuadro 17. Sensorial semana 4.....	62
Cuadro 18. Sensorial semana 8.....	63
Cuadro 19. Sensorial semana 16.....	63
Cuadro 20. Perfil de sabor semana 0.....	65
Cuadro 21. Perfil de sabor semana 4.....	66
Cuadro 22. Perfil de sabor semana 8.....	66
Cuadro 23. Perfil de sabor semana 16.....	67

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Secador solar de tipo directo.....	20
Figura 2. Secador solar indirecto.....	21
Figura 3. Secador solar mixto.....	21
Figura 4. Equipo de empaque al vacío OSTER modelo VAC550.....	22
Figura 5. Los panelistas.....	25
Figura 6. Aula preparada para el análisis sensorial.....	26
Figura 7. Equipo Texture Analyzer TA-XT2.....	26
Figura 8. Plátano deshidratado en D.I.....	28
Figura 9. Deshidratador solar directo.....	28
Figura 10. Deshidratador solar mixto.....	29
Figura 11. Análisis comparativo de pérdida de peso del plátano.....	31
deshidratado por diferentes procesos	
Figura 12. Comparación de distintas temperaturas en el D.M.....	35
Figura 13. Comparación de la temperatura y radiación durante el proceso de...	36
secado en el deshidratador mixto	
Figura 14. Pérdida de peso en el D.M.....	37
Figura 15. Pérdida de humedad en forma de gas en el D.M.....	38
Figura 16. Plátano deshidratado empacado al vacío.....	42
Figura 17. Colocación del plátano en el deshidratador.....	49
Figura 18. Plátano en bandejas de deshidratador.....	49
Figura 19. Pérdida de peso de plátano en deshidratador mixto.....	52
Figura 20. Comparación de temperaturas alcanzadas en el	
Deshidratador mixto.....	52
Figura 21. Pérdida de humedad del plátano deshidratado en	
Secador mixto.....	53
Figura 22. Plátano a punto de ser empacado.....	54
Figura 23. Plátano empacado al vacío.....	54
Figura 24. Producto final.....	54
Figura 25. Muestra para análisis sensorial.....	59

Figura 26. Análisis de textura bucal.....	59
Figura 27. Análisis sensorial de olor.....	60
Figura 28. Panelistas en el análisis.....	60
Figura 29. Determinación de textura.....	64
Figura 30. Textura de plátano deshidratado.....	64

1.0 RESUMEN

El plátano ocupa el primer lugar en producción mundial de frutas tropicales y es considerado como una fruta básica en la alimentación Mexicana, por su sabor, disponibilidad en todo el año, y por su bajo precio. No obstante, una gran pérdida de producto ocurre por malas prácticas sanitarias, de transporte y almacenamiento, por lo que es necesario plantear alternativas para la conservación del fruto. El objetivo del presente trabajo fue aplicar el secado del plátano en un equipo de deshidratación solar, controlando los puntos críticos sanitarios del proceso, así como evaluar las propiedades sensoriales y microbiológicas del producto. Se probaron diferentes deshidratadores solares: directo, indirecto y mixto, evaluándose su eficiencia térmica. Los plátanos deshidratados se almacenaron por cuatro meses en bolsas de plástico selladas al vacío. El análisis microbiológico de las muestras consistió en el recuento en placa de bacterias mesofílicas aerobias, coliformes totales, hongos y levaduras, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella*. Para el análisis sensorial de los productos se usó la técnica de escala hedónica y de perfil sensorial para evaluar las características de sabor, aroma, dulzor, astringencia, firmeza y textura bucal con jueces no entrenados. Los productos deshidratados y almacenados no mostraron ninguna alteración microbiológica, limitándose el crecimiento a una presencia menor de 100 UFC/g o ml, lo cual indicó que fueron productos aptos para el consumo humano, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana. El bajo crecimiento microbiano se debió a que los productos se deshidrataron controlando sus puntos críticos y a que el valor de actividad de agua de los productos secos fue de 0.506. Los productos fueron aceptados sensorialmente en todos sus atributos. En función del tiempo, el cambio más significativo de deterioro fueron la textura y el color. Los atributos de sabor, aroma y dulzor se mantuvieron sin cambios durante todo el experimento. Los productos deshidratados y almacenados bajo las condiciones aquí estudiadas se mantuvieron bajo aceptación sensorial de los consumidores por tres meses, a pesar de que desde el punto de vista microbiológico los productos se mantuvieron aptos para el consumo humano. Por tanto, el proceso con equipo de deshidratación solar del plátano resultó ser una alternativa tecnológica de bajo costo, de fácil operación y el producto tuvo una vida útil de almacenamiento prolongada, representando una alternativa para la comercialización del plátano.

2.0 INTRODUCCIÓN

La fruta es refrescante y como alimento añade color y sabor a la dieta. La mayoría de las frutas consisten principalmente en agua y por tanto, su contenido de nutrientes es bajo. La importancia de ésta radica en que es importante fuente de vitamina C, fibra y otros nutrientes (Fox y Cameron, 2002).

El plátano es cultivado extensivamente en regiones tropicales y subtropicales (Thipayarat, 2007). Es el cuarto cultivo más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz. Además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituye una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo.

Los países Latinoamericanos y del Caribe producen el grueso de los plátanos que entran en el comercio internacional, unos 10 millones de tons, del total mundial de 12 millones de tons.

Aunque es uno de los cultivos más importantes de todo el mundo, los consumidores del norte lo aprecian sólo como un postre, no obstante, constituye una parte esencial de la dieta diaria para los habitantes de más de cien países tropicales y subtropicales (http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm). En frutas tropicales el plátano ocupa el primer lugar de producción (<http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAF%CDA%20DE%20PL%C1TANO.PDF>).

Los estados productores de plátano en México son principalmente: Tabasco, Chiapas, y Veracruz, conociéndose como productores secundarios a los estados de Colima y Michoacán, entre otros (www.cedagro.col.gob.mx/platano2).

En el año 2003, en México se produjeron anualmente aproximadamente 2 millones 26 mil tons (www.cedagro.col.gob.mx/platano2) en una superficie de 77,301 hectáreas de las cuales, y en el estado de Michoacán son 3000 las hectáreas cultivadas de dicho fruto.

Por otro lado, el plátano tiene un tiempo de vida limitado. Es generalmente alto en azúcar y muy susceptible a deterioros fisicoquímicos (Thipayarat, 2007), por lo cual se descompone con facilidad.

El tiempo de vida de anaquel de productos perecederos, como el plátano, se puede extender por la aplicación de varias técnicas físicas y químicas; por ejemplo la deshidratación del exceso de agua extiende el tiempo de vida de anaquel reduciendo la actividad de agua (Thipayarat, 2007).

Por tal motivo, es importante que los productores cuenten con alternativas para dar valor agregado al plátano. Varias formas en las que se puede comercializar son como producto en polvo para preparación de bebidas, como golosina, y como producto deshidratado en diferentes formas como son en rebanadas o entero.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue aplicar el proceso de deshidratación solar para obtener plátanos desecados y presentarlos como una alternativa para su aprovechamiento. Para ello, se deshidrato el plátano usando diferentes tipos de deshidratadores solares y se optimizo el proceso de secado, tomando en cuenta los puntos críticos sanitarios del proceso.

3.0 ANTECEDENTES

3.1 Generalidades de la planta del plátano

3.1.1. Morfología y taxonomía

Para conocer mejor las características de este fruto es necesario conocer su morfología y taxonomía; según infoagro.com las características del plátano son las siguientes:

Especie: *Musa cavendishii*.

Origen: Tiene su origen en Asia meridional, siendo conocida en el Mediterráneo desde el año 650. La especie llegó a Canarias en el siglo XV y desde allí fue llevado a América en el año 1,516. El cultivo comercial se inició en Canarias a finales del siglo XIX y principios del siglo XX.

Planta: Herbácea perenne gigante, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, cónico y de 3.5-7.5 m de altura, terminado en una corona de hojas.

Sistema radicular: Raíz superficial, menos ramificada que en peral.

Hojas: Muy grandes y dispuestas en forma de espiral, de 2-4 m de largo y hasta de 0.5 m de ancho, con un peciolo de 1 m o más de longitud y limbo elíptico alargado, ligeramente decurrente hacia el peciolo, un poco ondulado y glabro. Cuando son viejas se rompen fácilmente de forma transversal por el azote del viento. De la corona de hojas sale, durante la floración, un escapo pubescente de 5-6 cm de diámetro, terminado por un racimo colgante de 1-2 m de largo. Éste lleva una veintena de brácteas ovales alargadas, agudas, de color rojo púrpura, cubiertas de un polvillo blanco harinoso; de las axilas de estas brácteas nacen a su vez las flores.

Tallo: El verdadero tallo es un rizoma grande, almidonoso, subterráneo, que está coronado con yemas; éstas se desarrollan una vez que la planta ha florecido y

fructificado. A medida que cada chupón del rizoma alcanza la madurez, su yema terminal se convierte en una inflorescencia al ser empujada hacia arriba desde el interior del suelo por el alargamiento del tallo, hasta que emerge arriba del pseudotallo.

Flores: Flores amarillentas, irregulares y con seis estambres, de los cuales uno es estéril, reducido a estaminodio petaloideo. El gineceo tiene tres pistilos, con ovario ínfero. El conjunto de la inflorescencia constituye el “régimen” de la platanera. Cada grupo de flores reunidas en cada bráctea forma una reunión de frutos llamada “mano”, que contiene de 3 a 20 frutos. Un régimen no puede llevar más de 4 manos, excepto en las variedades muy fructíferas, que pueden contar con 12-14.

Fruto: Oblongo, durante el desarrollo del fruto éstos se doblan geotrópicamente, según el peso de éste, hace que el pedúnculo se doble. Esta reacción determina la forma del racimo. Los plátanos son polimórficos, pudiendo contener de 5-20 manos, cada una con 2-20 frutos; siendo de color amarillo verdoso, amarillo, amarillo-rojizo o rojo.

Los plátanos comestibles son de partenocarpia vegetativa, o sea, que desarrollan una masa de pulpa comestible sin la polinización. Los óvulos se atrofian pronto, pero pueden reconocerse en la pulpa comestible. La partenocarpia y la esterilidad son mecanismos diferentes, debido a cambios genéticos, que cuando menos son parcialmente independientes.

La mayoría de los frutos de la familia de las *Musáceas* comestibles son estériles, debido a un complejo de causas, entre otras, a genes específicos de esterilidad femenina, triploidía y cambios estructurales cromosómicos, en distintos grados (http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm).

3.2 Variedades del plátano

Existen diversas variedades de plátano en nuestro país, entre las que destacan: plátano tabasco o roatan (enano-gigante), valery, manzano, dominico, macho, blanco y morado, siendo el tabasco dominico y macho los que satisfacen el mercado externo y las variedades restantes cubren exclusivamente el consumo interno (www.sagarpa.gob.mx/dlg/chiapas/agricultura).

3.3 La deshidratación

El agua se elimina en los alimentos en condiciones naturales mediante diferentes procesos de deshidratación controlados (Potter, 1973).

La deshidratación es un método tradicional de conservar los alimentos; el proceso de secado al sol se practicaba ya en épocas remotas, como 2000 años a.c. y las hortalizas y sopas secas se venden desde hace más de un siglo (Fox y Cameron, 2002).

La deshidratación al sol se usa todavía en muchas partes del mundo, pero aunque en algunas zonas y para ciertos alimentos sea la forma más económica, tiene varias desventajas. La desecación al sol depende del clima y es lenta e inadecuada para muchos productos de alta calidad; generalmente el contenido de humedad no desciende por debajo de un 15% aproximadamente, que es demasiado alto para que numerosos productos alimenticios permanezcan estables durante su almacenamiento (Potter, 1973).

La deshidratación es un método confiable de conservación de los alimentos, considerando que la eliminación de agua puede llegar a lograr (dependiendo del alimento que se trate) hasta una reducción hasta de 8 veces menor de su peso original, además de que las propiedades nutritivas de los alimentos no tienen variación.

En el caso de la deshidratación solar, aparte de las ventajas mencionadas anteriormente, también es importante decir que el sol es un recurso natural disponible y sin costo alguno, lo cual lo hace un proceso redituable.

3.3.1. Deshidratación solar de frutos

La deshidratación o secado de frutas y hortalizas, consiste en eliminar la mayor parte del agua contenida en ellas (Meyer, 1981). La conservación de los alimentos por deshidratación se basa en el hecho de que tanto los microorganismos como las enzimas necesitan agua con el objeto de mantener sus actividades (Jay, 2000). Eliminando una parte del agua se bloquea el desarrollo de los microorganismos. La cantidad de agua que se desee eliminar depende de cada producto (Meyer, 1981). Al aplicar aire caliente sobre el producto, el agua de los tejidos vegetales es evaporada. El vapor es absorbido por el aire y alejado del producto (Meyer, 1981).

Para exponer la fruta al sol se requiere mucho espacio de aire libre. Bajo estas condiciones, la fruta es susceptible a la contaminación por factores como polvo, insectos y roedores (Meyer, 1981).

La temperatura máxima que se puede utilizar es de 70 °C ya que al iniciar el secado con una temperatura elevada, el agua de los tejidos superficiales se elimina demasiado rápido. Esto dificulta la salida del agua de tejidos internos, dando como resultado un producto de baja calidad. Temperaturas elevadas y humedad baja, causa caramelización de los azúcares presentes en la frutas (Meyer, 1981).

Ventajas de la utilización de energía solar en el secado

A continuación se mencionan algunas de las ventajas (Cortéz y col., 2007) del secado solar:

- Ahorro importante de energías fósiles debido a la radiación solar. El ahorro puede variar según la insolación y condiciones meteorológicas del lugar, pero después de cierto tiempo de producción representa una ganancia cierta.
- Pequeña inversión comparada con un secador artificial; éstos sistemas pueden funcionar como un pequeño negocio, muchas veces familiar y como tal no se necesita disponer de un gran mercado.
- Fácil transportación e instalación.
- No contamina ni produce materiales de desecho.
- Mantenimiento sencillo; basta con la limpieza del equipo y del panel, así como evitar que se rompa el panel (el cual es fácilmente reemplazable).
- Menor tiempo de secado.
- Silencioso.
- Estético.
- Simplicidad operativa.
- La entrada y salida de aire están recubiertas con malla metálica para evitar la entrada de insectos, roedores y material extraño.
- Materiales de construcción disponibles a nivel local.
- Óptimo para gran variedad de productos.

Dadas las condiciones geográficas, climáticas y ambientales del estado de Michoacán, hacen que el proceso del secado solar sea un método con grandes alternativas de aplicación en el área alimenticia, aprovechando esa fuente de energía natural que tenemos en abundancia y de forma gratuita.

3.3.2. Cinética de secado

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

Los alimentos poseen dos tipos de humedad o agua: el agua libre y el agua ligada.

El agua libre es aquella que se encuentra en la superficie del alimento, y esta unida a él por medio de fuerzas débiles las cuales pueden ser vencidas fácilmente por métodos de secado y mecánicos.

Mientras que el agua enlazada es aquella que se encuentra dentro de las células que conforman el alimento y esta unida por fuerzas tanto fisicoquímicas como químicas, lo cual hace más difícil su eliminación ya que para esto requiere un gas con una energía considerablemente mayor que la utilizada para eliminar la humedad libre (Velásquez, 2006).

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

La cinética de secado de un material no es más que la dependencia de la humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas. La intensidad de evaporación se determina a través de la velocidad de secado, que es el cambio de humedad (base seca) en el tiempo. La migración de agua desde el alimento al medio (exterior) va a depender del contenido de agua

y composición del alimento, de la temperatura y humedad relativa ambiente (Cortéz, y col., 2007).

En el proceso se pueden construir gráficas donde se vean relacionadas el peso perdido por la eliminación de la humedad con respecto al tiempo, siguiendo intervalos de tiempo iguales hasta que se logra eliminar la mayor parte de agua (Cortéz, y col., 2007).

En una curva de secado se aprecian dos partes notorias de la misma, una es donde la etapa de secado es constante, y una de caída; pero teóricamente existen tres etapas que son las siguientes: 1) Etapa A-B: es una etapa de adaptación y calentamiento del material sólido a secar, desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases; es una etapa corta y no existe deshidratación significativa aun. 2) Etapa B-C: es la primera etapa de deshidratación, se lleva a cabo con un flujo de corriente de calor constante y se elimina la mayoría del agua superficial. La temperatura del sólido es igual a la del gas. La velocidad del secado es constante. 3) Etapa C-E: es la segunda etapa de secado o de caída donde la pérdida de humedad se reduce, y la velocidad de secado decrece; se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas o las características internas y externas simultáneamente. En estas condiciones el sólido tiene un comportamiento higroscópico.

La eliminación de agua en forma de vapor de la superficie del material, depende de las condiciones externas tales como: temperatura, humedad y flujo de aire, área de la superficie expuesta y presión. Estas condiciones son importantes durante las primeras etapas de secado cuando la humedad de la superficie está siendo removida. En ciertos materiales puede haber encogimiento, excesiva evaporización en la superficie, después de que la humedad inicial ha sido removida, dando lugar a altos gradientes de humedad del interior a la superficie.

El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física dentro del sólido, de la temperatura y del contenido de humedad. En una operación de secado cualquiera de estos puede ser el factor que determina la velocidad de secado.

A partir de la transferencia de calor hacia un sólido húmedo, un gradiente de temperatura se desarrolla dentro del sólido mientras la evaporación de la humedad ocurre en la superficie. La evaporación produce una migración de humedad desde

el interior del sólido hacia la superficie, la cual ocurre a través de uno o más mecanismos normalmente: difusión, y/o el flujo capilar, presión interna causada por el encogimiento durante el secado (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cabrera_v_a/capitulo5.pdf).

Es importante conocer los detalles de esta operación para hacer más eficiente el proceso, además de que el medir diferentes variables nos da la opción de modificar las características de la muestra o del deshidratador para obtener un mejor producto seco (Velásquez, 2006).

3.3.3. Control sanitario durante el proceso de deshidratación solar

Para garantizar que un producto sea apto para consumo humano es necesario tener cuidados que garanticen la sanidad del mismo. Es por ello que para tener productos de calidad se requiere tener un control de procesos para reducir los agentes contaminantes.

El control sanitario en todo el proceso de deshidratación solar es fundamental para lograr un producto de alta calidad desde el punto de vista microbiológico y se convierte en un requisito indispensable para su exitosa comercialización. No obstante, la complejidad intrínseca del proceso del secado solar, el cual está sujeto a las imprevisibles variaciones climatológicas, obliga a realizar un estudio sistemático y detallado de los puntos sanitarios críticos del proceso.

Es importante mencionar, que la aplicación de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) para la elaboración y envasado de alimentos será tomado en cuenta en este estudio. Se aplicarán también las metodologías que las NOM's marcan para la determinación de los parámetros microbiológicos y de vida de anaquel de los productos finales.

3.3.4. Descomposición de los alimentos

Los alimentos deshidratados están expuestos a determinados cambios químicos que pueden dar como resultado que aquellos se vuelvan desagradables después de su conservación (Jay, 2000).

Los principales factores causantes de la alteración de los alimentos son: crecimiento y actividad de los microorganismos (bacterias, hongos y levaduras), la

actividad enzimática y otras reacciones químicas propias del alimento, infestación por plagas, almacenamiento a temperaturas inadecuadas, la ganancia o pérdida de humedad, las reacciones con el oxígeno, la luz, el mal manejo y el tiempo (Potter, 1973).

Dependiendo del alimento y las condiciones del ambiente, pueden tener lugar al mismo tiempo muchas formas de alteración. Una conservación efectiva debe eliminar o disminuir todos estos factores de cualquier alimento dado (Potter, 1973).

Los alimentos que contienen azúcares reductores experimentan un cambio de color conocido como reacción de Maillard o pardeamiento no enzimático, el cual es muy desagradable en frutas y hortalizas no solo por su color no natural sino también por el sabor amargo que imparte a los alimentos (Jay, 2000).

3.3.4.1 Análisis microbiológico

Aunque la mayoría de los microorganismos son destruidos durante la deshidratación, esta de por sí no es letal para los microorganismos.

Para su crecimiento las bacterias necesitan una cantidad de humedad relativamente elevada, mientras que las levaduras necesitan menos y los hongos aun menos.

En cuanto a los valores de A_w , las bacterias requieren de valores superiores a 0.90, por lo tanto, no intervienen en los alimentos deshidratados. A valores de 0.80-0.85 varios hongos los alteran con facilidad en un periodo de 1-2 semanas. Se sabe que a una A_w de 0.65 crecen muy pocos microorganismos y es muy improbable que los alimentos se alteren durante un tiempo de incluso 2 años (Jay, 2000).

El grupo de microorganismos más difíciles de eliminar y controlar en los alimentos desecados es el de los hongos, siendo el grupo de *Aspergillus glaucus* el más notorio a valores bajos de A_w (Jay, 2000).

Generalmente, se está de acuerdo que el recuento de coliformes en los alimentos desecados debe ser cero o casi cero y no se debe permitir la presencia de microorganismos causantes de intoxicaciones alimentarias.

Cuando se destruyen microorganismos durante la deshidratación, la velocidad de destrucción es máxima durante las primeras fases de la desecación.

Se ha indicado que los cultivos jóvenes son más sensibles a la desecación que los cultivos viejos (Jay, 2000).

Aunque es poco probable que el producto deshidratado contenga un microorganismo patógeno debido a la poca A_w que hay en ellos, existe la probabilidad de que ocurra una contaminación debido a una mala manipulación del producto por parte del trabajador; es por ello que es conveniente minimizar las fuentes de contaminación desde que se pretende deshidratar, y en diversos puntos a lo largo del proceso, hasta que finalmente se logre validar la inocuidad a través de lo análisis que marca la Norma Oficial Mexicana (NOM) que garanticen un producto apto para el consumo humano y de esta manera también se compruebe que el proceso se lleve a cabo de una forma higiénica.

Basado, como se dijo antes en los procedimientos descritos para la identificación de diferentes microorganismos patógenos en la NOM, se hará uso de los mismos, tomando en cuenta que, si es necesario y la tecnología lo permite, adaptarlo o modificarlo sin alterar los objetivos que proponen las normas.

Al basarnos en las NOM's se garantiza que el producto puede ser fácilmente aprobado para su comercialización.

3.4. Vida útil

La vida útil o vida de almacén de un alimento se define como el tiempo que transcurre hasta que el producto se convierte en inaceptable (Potter, 1973). Es el periodo de tiempo durante el cual el producto permanece en buenas condiciones de venta. Es finalmente un juicio que debe llevar a cabo el fabricante o el vendedor del producto. En muchos casos, el fabricante debe definir la calidad mínima aceptable del producto, la cual dependerá del grado de degradación que el fabricante permita en el producto antes que decida no venderlo. La duración de la vida útil depende de un gran número de factores como son: método de procesado, envasado y almacenamiento (Potter, 1973).

3.5 Análisis sensorial

Cuando la calidad de un producto alimenticio es evaluada por medio de los órganos sensoriales humanos se dice que la evaluación es sensorial o subjetiva (Charley, 2001).

La valoración sensorial es una función que la persona realiza desde la infancia y que la lleva, consciente o inconscientemente al aceptar o rechazar los alimentos de acuerdo con las sensaciones experimentadas al observarlos o ingerirlos. Sin embargo, las sensaciones que motivan este rechazo o aceptación varían con el tiempo y el momento en que se perciben: depende tanto de la persona como del entorno. De ahí la dificultad de que con determinaciones de valor tan subjetivo, se pueda llegar a tener datos objetivos y fiables para evaluar la aceptación o rechazo de un producto alimentario (Sancho y col., 2002).

El análisis sensorial de los alimentos en general se define, en sentido amplio, como un conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos, a través de uno o más de los sentidos humanos (Tilgner, 1971).

3.5.1 Características organolépticas de la fruta

El gusto y el aroma contribuyen al sabor, y ambas cualidades están tan extremadamente relacionadas, que resulta difícil distinguirlas o definir las. Todas ellas tienen origen químico ya que son causadas por la presencia de compuestos específicos en la fruta (Fox y Cameron, 2002).

El gusto o sabor de una fruta es una sutil mezcla de dulzura y acidez complementada con el olor de la fruta que se trate. La cantidad de azúcares en la fruta determinará si será dulce o ácida. El aroma es una propiedad mucho más sutil que el sabor, y consiste en una combinación del gusto y el olor. La fruta debe su olor a la presencia de una variedad de compuestos orgánicos volátiles de olor suave que incluyen, ácidos, alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas e hidrocarburos. Un gran número de compuestos contribuyen al sabor y olor de una fruta en particular, se han identificado más de 200 en plátanos maduros (Fox y Cameron, 2002).

3.5.2 Degustación y sus tipos

La degustación es el acto de saborear un producto del que se quiere conocer sus cualidades, sometiéndolo a nuestros sentidos, en particular el gusto y el olfato, pero también la vista y el tacto, intentando conocerlo, buscando defectos y objetivando sus diferentes características (Ribereau-Gayton, 1977).

La degustación comprende las siguientes funciones: estudiar, analizar, describir, definir, juzgar y clasificar, pudiéndose puntualizar que la degustación es un caso particular del Análisis de Alimentos en el que se trabaja con modelos preestablecidos.

3.5.3. Análisis sensorial de los productos deshidratados

Al introducir un nuevo producto siempre es fundamental la opinión del consumidor, es por ello que se realizarán en la presente investigación paneles de degustación con los diferentes productos obtenidos; se realizarán tomando en cuenta varias características de los panelistas llevándose a cabo por: edades, género, y la región donde habitan etc..., para que arrojen resultados fidedignos y basado en ellos se puedan mejorar los diferentes productos elaborados con la intención de satisfacer al consumidor.

El análisis sensorial sirve de manera general para el desarrollo de un nuevo producto, estudiar la influencia de modificaciones en la formulación o del proceso de fabricación sobre el producto, determinar las condiciones óptimas de conservación y para situar el producto frente a la competencia. Los datos obtenidos de las pruebas son sometidos al análisis y descripción realizados bajo las consideraciones del método estadístico de componentes principales

(www.fcyt.umss.edu.bo/investigacion/cesa/articulos/ARTICULO%201-APLICACION%20DEL%20ACP.pdf).

3.5.4. Pruebas sensoriales que se le realizan a los productos deshidratados.

Los métodos sensoriales se pueden usar para evaluar la calidad de un alimento, y a los individuos que forman un jurado de prueba de alimentos se les pide que empleen sus sentidos de la vista, gusto, olfato, tacto y oído, para evaluar el carácter de un alimento (Charley, 2001).

3.5.5. Tipos de pruebas

Según Sancho y col. (2002) las pruebas sensoriales se pueden agrupar de diferentes formas, tal como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tipos de pruebas sensoriales realizadas en alimentos.

Pruebas de aceptación o afectividad • Preferencia • Medida del grado de satisfacción ➤ Hedónicas verbales ➤ Hedónicas gráfica	Pruebas de discriminación • Pareada (comparación simple) • Triangular • Dúo- trío • Comparaciones apareadas (Scheffè) • Comparaciones múltiples • Ordenación
Pruebas descriptivas • Pruebas de calificación por escalas ➤ No estructuradas ➤ De intervalos ➤ Estándar ➤ Proporcionales con estima de magnitud • Medición de atributos respecto al tiempo • Definición de perfiles sensoriales • Relaciones Psico- físicas	

Pruebas de aceptación o hedónicas

Se utilizan para evaluar la aceptación o rechazo de un producto determinado, y si es preferido para el consumo en un grupo de una población (Sancho y col., 2002). Normalmente los ensayos de preferencia se suelen hacer en ambientes lo más aproximado a la realidad, (calle, sala, domicilio), pero en algunos casos puede estar indicado realizarlos en el laboratorio y en condiciones más controladas (Sancho y col., 2002).

El perfil de sabor

Es la definición de un producto en función de sus parámetros sensoriales. La finalidad de cualquier tipo de análisis es obtener información fiable y repetible que pueda utilizarse en trabajos posteriores. En la industria de alimentación los datos

suministrados por el análisis sensorial se utilizan para tomar decisiones tanto técnicas como comerciales. Sin embargo, la complejidad de los resultados no siempre es fácil de interpretar por ello se busca una forma de representarlos que ayude en la toma de decisiones.

Los principales tipos de representación que se utilizan para perfilar los productos son los histogramas, las representaciones polares o la ubicación concreta en el espacio de individuos en un análisis de componentes principales (Sancho y col., 2002).

Textura

Es la característica sensorial del estado sólido o reológico de un producto, cuyo conjunto es capaz de estimular los receptores mecánicos de la boca durante la degustación.

La textura del producto alimenticio se valora básicamente por el esfuerzo mecánico no solo total sino el tipo (masticación blanda, fractura, etc...). En la textura la valoración final intervienen en gran parte también los aspectos culturales. No solo el esfuerzo a realizar da una idea del tipo de textura de lo que se come, sino que, la cultura sensorial previa, informa de la calidad organoléptica del mismo. Un producto debe corresponder a las expectativas texturales que esperamos de él (Sancho y col., 2002).

La textura de los alimentos es uno de los atributos primarios que conforman su calidad sensorial. Su definición no es sencilla por que es el resultado de la acción de estímulos de distinta naturaleza (Costell y col., 2002).

La dificultad en las medidas de textura ha obligado a diseñar aparatos experimentales (texturómetros) que permiten estimar objetivamente esta característica y que se basan en la medida de aspectos tan diferentes como son, la deformación, la compresión, la resistencia a la tracción y la fuerza de corte (Sancho y col., 2002).

4.0 HIPOTESIS

El proceso de deshidratación solar del plátano permitirá obtener un producto con adecuadas características sensoriales y microbiológicas.

5.0 OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar la calidad sensorial y microbiológica, así como determinar y controlar los puntos críticos desde el punto de vista sanitario durante el proceso de secado solar de plátano.

5.2. Objetivos particulares

- A través de análisis microbiológicos determinar los puntos sanitarios críticos del proceso de deshidratación solar de plátano.
- Determinar las condiciones termodinámicas del secado solar.
- Determinar la calidad microbiológica del plátano deshidratado.
- Determinar la vida de anaquel, sensorial y microbiológica, del producto deshidratado.

6.0 MATERIALES Y METODOS

6.1 Materia prima

Se utilizó plátano de la variedad roatan, adquirido en un centro comercial de la ciudad de Morelia, Mich., teniendo como condición un estado de madurez intermedio (cáscara tono alimonado entre verde y amarillo; la fruta se desprendió con facilidad del racimo). La materia prima fue lavada antes de ser pelada con agua y desinfectada con una solución de hipoclorito de sodio al 0.1% y cortada en rodajas con un rebanador manual obteniendo muestras con un espesor de 2-3 mm.

6.2 Métodos

6.2.1 Determinación de °Brix

Este análisis también conocido como análisis de sólidos solubles, puede utilizarse como un estimador del contenido de azúcares totales en la muestra.

Para este método se emplearon los siguientes materiales de laboratorio: un mortero con mano, una pipeta de vidrio, y un refractómetro ATAGO modelo NE3 (0-50%).

Se molieron por separado un total de cuatro plátanos diferentes con diversas características de color en la cáscara, y con la pipeta se tomó la muestra para posteriormente depositarla sobre el prisma del refractómetro de tal manera que cubriera la superficie. La medición se realizó a través del ocular, ajustando la sombra en el punto medio de la cruz para leer en la escala numerada superior el índice de refracción. El valor leído se anotó en forma de °Brix.

6.3 Secado solar del plátano

6.3.1. Descripción del equipo de secado solar

Para realizar la deshidratación se utilizaron equipos de secado solar directo e indirecto localizados en el Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán (CIDEM). En la Figura 1 se observa el secador solar de tipo directo.

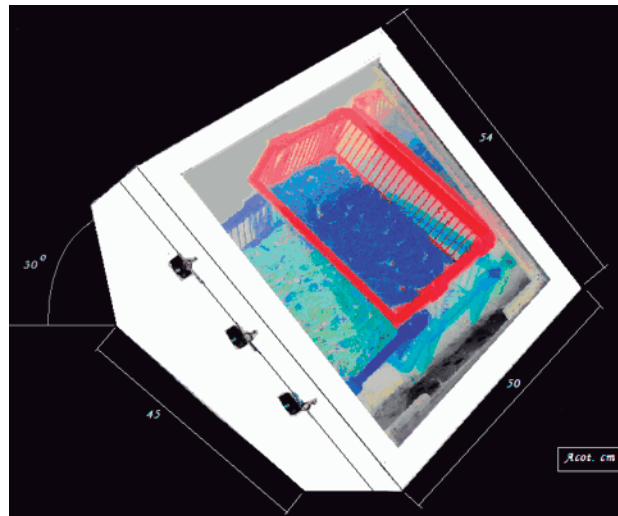


Figura 1. Secador solar de tipo directo.

6.3.2. Descripción del equipo de deshidratación solar de tipo directo

El secador directo consistió en una cámara de inclinación de 30° respecto a la horizontal de 0.21 m^2 de base y 0.041 m de altura construida en aglomerado con un espesor de 22 mm , cubierta con un panel de vidrio de 3 mm , su interior incluye un aislamiento térmico de poliestireno cubierto de una placa metálica. Posee una serie de perforaciones tanto en la parte inferior como en la superior para permitir el flujo de aire.

6.3.3. Descripción del equipo de deshidratación solar de tipo indirecto

El secador indirecto (Figura 2), tiene capacidad para deshidratar hasta 5 kg de producto fresco. Contiene tres charolas para colocar la fruta. El gabinete tiene una altura de 1.10 m y una base de 0.25 ; está aislado con placas de poliestireno expandido, recubierto con placas de “triplay” (aglomerado de madera) y la estructura está construida con listones de madera de pino de $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$. El captador solar tiene un área de 0.46 , estructura de madera, aislado en su parte inferior con poliestireno insuflado y con una cubierta de policarbonato. En medio tiene una lámina galvanizada pintada con pintura de aerosol color negro mate. Ángulo de inclinación del colector de 30° respecto a la horizontal. La puerta es corrediza, permite un mejor aislamiento y facilita el trabajo.



Figura 2. Secador solar indirecto.

6.3.4. Descripción del equipo de deshidratación solar mixto

El secador solar mixto (Figura 3), es un equipo tipo caseta con un colector solar plano con doble flujo en el absorbedor. Tiene un área de secado de 5 m^2 en 5 niveles, los cuales son bandejas perforadas de plástico, tiene un colector plano de 1 m^2 de área; la capacidad máxima por carga es de 10-20 Kg de producto fresco, lo que da una capacidad máxima de producto seco al mes de 16-32 kg. Tiempo estimado de deshidratación: 1- 3 días. Depende del tipo de producto, de la carga y de las condiciones meteorológicas. Rango de temperaturas: $45\text{--}65 \text{ }^\circ\text{C}$. Físicamente posee estructura metálica de aluminio, con cubierta total de policarbonato. La cámara de secado cuenta con 20 niveles de secado. Cada nivel representa 0.25 m^2 de área de secado. La cámara de secado se conecta en la parte inferior con un colector solar plano que permite el adecuado suministro de aire caliente.



Figura 3. Secador solar mixto.

6.3.5. Proceso de secado

Se llevó a cabo en las instalaciones del CIDEM. Los deshidratadores contaban con bandejas de plástico perforadas donde se colocó la muestra previamente limpia; es importante mencionar que fue preferible rebanar sobre la bandeja en la que se secó el plátano ya que de lo contrario la muestra comenzaba a oxidarse y posteriormente no era posible manipularse con facilidad por la secreción que la fruta libera al ser cortada, lo cual hacía que las rodajas se rompieran y tomaran una tonalidad oscura; una vez que se colocó la muestra, ésta se pesó y se dejó en exposición sin volver a abrir el deshidratado por aproximadamente 24 h, tiempo en el cual se pesó nuevamente para comprobar la pérdida de humedad y se retiró el plátano de las bandejas con extremo cuidado de conservar la forma de rodaja con ayuda de una espátula o cuchillo y se empacó en bolsas especiales al vacío, 123 g por bolsa, la empacadora utilizada para este procedimiento fue el equipo de empaque al vacío OSTER modelo VAC550 mostrado en la Figura 4. Una vez empacado el producto se mantuvo en almacenamiento a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, en una cámara de almacenamiento, en ausencia de luz.



Figura 4. Equipo de empaque al vacío OSTER modelo VAC550

6.4 Análisis microbiológico

Las muestras empacadas fueron sometidas al análisis microbiológico, el cual se realizó en cuatro diferentes ocasiones.

Para la realización del mismo se utilizaron técnicas conocidas basadas en la Norma Oficial Mexicana (NOM) siendo las siguientes:

NOM-110-SSA1-1994, Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para el análisis microbiológico.

NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de Mohos y Levaduras en alimentos.

NOM-113-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.

NOM-114-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la determinación de *Salmonella* en alimentos.

NOM-115-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la determinación de *Staphylococcus aureus* en alimentos con adecuación.

NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

NOM-112-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en tubo.

Se realizaron cuatro análisis microbiológicos en intervalos de tiempo de 30 días entre cada análisis. En cada uno se realizaron las pruebas mencionadas anteriormente.

6.5 Análisis sensorial

Se pusieron en consideración diferentes aspectos que le dan al producto las características. Se analizaron el sabor, la textura, el olor, la textura bucal, por medio de escalas preformuladas con escalas definidas y también con escalas hedónicas.

En el apartado 6.5.1 se muestra el formulario utilizado.

Los panelistas

La selección del grupo de panelistas fue realizada de acuerdo a su conocimiento teórico en la materia, el primer análisis se llevo a cabo con el grupo mixto de 48 personas de la Orientación de Alimentos del 10° semestre de la Facultad de Químico FÁrmaco Biología. Posteriormente y de acuerdo a los resultados de ese primer análisis, se seleccionaron las personas que emitían resultados coherentes y que tenían mas sensibilidad para detectar los atributos a evaluar; quedando así el grupo definitivo para los análisis posteriores de 11 personas de las cuales 6 fueron mujeres y 5 hombres todos ellos con una edad entre los 22-24 años. En la Figura 5 se muestran los panelistas evaluando en una de las sesiones.

6.5.1 Formulario para el análisis sensorial para plátano deshidratado

OBJETIVO: Caracterizar los atributos sensoriales del plátano deshidratado, así como lograr la aceptación por parte de jueces consumidores.

A partir de las mismas muestras para evaluar los siguientes parámetros

- **Apariencia**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Desagradable			ni me gusta			me gusta mucho			
			ni me disgusta						

PERFIL DE SABOR

Escala a utilizar:

0 = no perceptible

1 = inicio de identificación

2 = ligero

3 = moderado

4 = intenso

AROMA:

Plátano	-----
Caramelo	-----

GUSTO:

Sabor a plátano	-----
Dulzura	-----
Caramelo	-----

RESABIO

Astringencia	-----
Sabor a plátano	-----

- **Textura bucal**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Caramelo				chiclosa					goma

- **Aceptabilidad**

Me disgusta extremadamente
 Me disgusta mucho
 Me disgusta
 Ni me gusta ni me disgusta
 Me gusta ligeramente
 Me gusta moderadamente
 Me gusta mucho

¿Usted compraría este producto?:

Si No

- **Textura**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muy blando				no tan blando					muy duro



Figura 5. Los panelistas.

Sesiones del análisis sensorial

Se realizaron cuatro análisis sensoriales; éstos se hicieron de una manera periódica entre cada análisis de por lo menos 30 días. Las sesiones se realizaron alrededor de las 12-13 h del día en el laboratorio de Biotecnología “Víctor Manuel Rodríguez Alcocer” de la Facultad de Químico Fármaco Biología (Figura 6).

Las muestras de plátano deshidratado en rodajas fueron puestas en recipientes blancos desechables al centro de la mesa, se colocaron de 5-7 rodajas por recipiente, a la derecha se colocó un vaso con agua sobre una servilleta blanca.

En el transcurso del análisis se hizo la recomendación de tomar agua entre cada descripción para así dar un mejor resultado. Y una vez finalizado el análisis se volvió a ofrecer agua.

6.5.2. Determinación de textura

A las muestras de plátano seco en rodajas se les determinó su dureza; para esto se midió la fuerza de resistencia a la compresión de la muestra. Se utilizó como aditamento un cilindro de acero inoxidable marcado con la clave P/2, el cual se desplazó a una velocidad de ensayo de 5 mm/s, penetrando a una distancia de 1.0 mm, en un tiempo de 5.0 seg. Se realizaron 15 repeticiones para análisis. El equipo usado fue el Texture Analyzer TA-XT2. Figura 7.



Figura 6. Aula preparada para el análisis sensorial.



Figura 7. Equipo Texture Analyzer TA-XT2.

6.5.3 Determinación de humedad

Técnica para los análisis fisicoquímicos de los alimentos. Dirección General de Investigación en Salud Pública. SSA. 1976.

Siguiendo la NOM 116.

7.0 RESULTADOS

La primera etapa del proyecto fue decidir en qué estado de madurez del plátano se llevaría a cabo la deshidratación. Para ello se tomó en cuenta el valor de los °Brix medido en cuatro manos de plátano, cada una de ellas con diferentes características en la cáscara, mostradas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Grados brix del plátano fresco.

Características del fruto	Valor (° Brix)	Estado de madurez*
Fruto verde con cáscara verde, sabor astringente y consistencia dura	11.5	1
Cáscara verde alimonado consistencia no tan dura, y persiste sabor astringente ligero.	17.5	3
Cáscara amarilla, fruto suave y dulce, sin astringencia.	18.5	5
Cáscara amarilla con manchas negras, fruto muy suave y con partes color caramelo; es muy dulce.	20	8

*(Estas características fueron colocadas en las muestras analizadas en función de lo descrito por Mendoza y Aguilera, 2004).

En estado verde del plátano, el componente que predomina es el almidón, el cual varía conforme el fruto se va madurando. Al degradarse el almidón durante la maduración, se va transformando a azúcares. Una vez seleccionado el estado de madurez se procedió a deshidratar manos de plátano.

7.1. Secado solar

Características de secado de en cada uno de los deshidratadores

Deshidratador indirecto (D.I.): la muestra en este sistema no se expuso directamente a los rayos del sol, sino que por medio del colector solar se hizo pasar el aire y en ese

trayecto el aire fue calentado por medio de la radiación; este aire caliente pasó a través de la cámara de la parte baja hacia arriba; el calor necesario para la evaporación del agua en el plátano fue provisto por una transferencia convectiva de calor entre el aire caliente y la muestra fresca.



Figura 8. Plátano deshidratado en D.I.

Deshidratador directo (D.D.): en este sistema de secado, la energía del sol actuó directamente sobre el producto. Una parte de la radiación incidente se reflejo y otra parte fue absorbida por la muestra; la radiación absorbida se convierte en energía térmica y la temperatura de la muestra aumenta dando como resultado la evaporación del agua, y por lo tanto la pérdida de peso del mismo Figura 9.



Figura 9. Deshidratador solar directo.

Deshidratador mixto (D.M.): en este proceso, se combinan los dos sistemas de deshidratación mencionados anteriormente; se emplea el principio del D.I. solo que en el mixto, por tener un colector dos veces más grande que el D.I. el área de calentamiento del aire es mayor, lo cual hace que alcance mayor temperatura en el interior de la cámara y por las características de los materiales empleados (la cámara esta construida de policarbonato, que es un material semi-traslúcido), lo cual le da características de secado directo.



Figura 10. Deshidratador solar mixto.

Para determinar cual de los tres deshidratadores era el más eficiente y apropiado para el secado de plátano, se realizaron jornadas de secado en las cuales se midió la temperatura de los deshidratadores, así como también la pérdida de peso en cada uno de los tres tipos de deshidratadores: el D.I., el D.D., y el D.M. Los resultados de la pérdida de peso se muestran en el Cuadro 3.

Los resultados de estas jornadas de secado nos dejan ver que por perdida de peso, el D.M. fue el más apropiado para el secado solar de plátano ya que en una jornada de 6 h se observo que en el D.M. se perdió un 33% del peso total de la muestra, mientras que en el D.I y D.D se perdió 25% y 9.5%, respectivamente, como se observa en la Figura 11.

Cuadro 3. Comparación de pérdida de peso en los diferentes tipos de deshidratadores.

	D.M.	D.I.	S.D.
Tiempo	Peso gr.	Peso gr.	Peso gr.
0	118	106	188
20	115	103	188
40	111	102	188
60	110	100	186
80	106	99	186
100	103	97	185
120	99	94	183
140	97	92	181
160	95	91	181
180	92	90	180
200	91	88	179
220	89	87	178
240	86	85	176
260	85	84	176
280	84	84	174
300	82	82	173
320	82	82	173
340	81	80	171
360	79	80	170
380	78	79	170

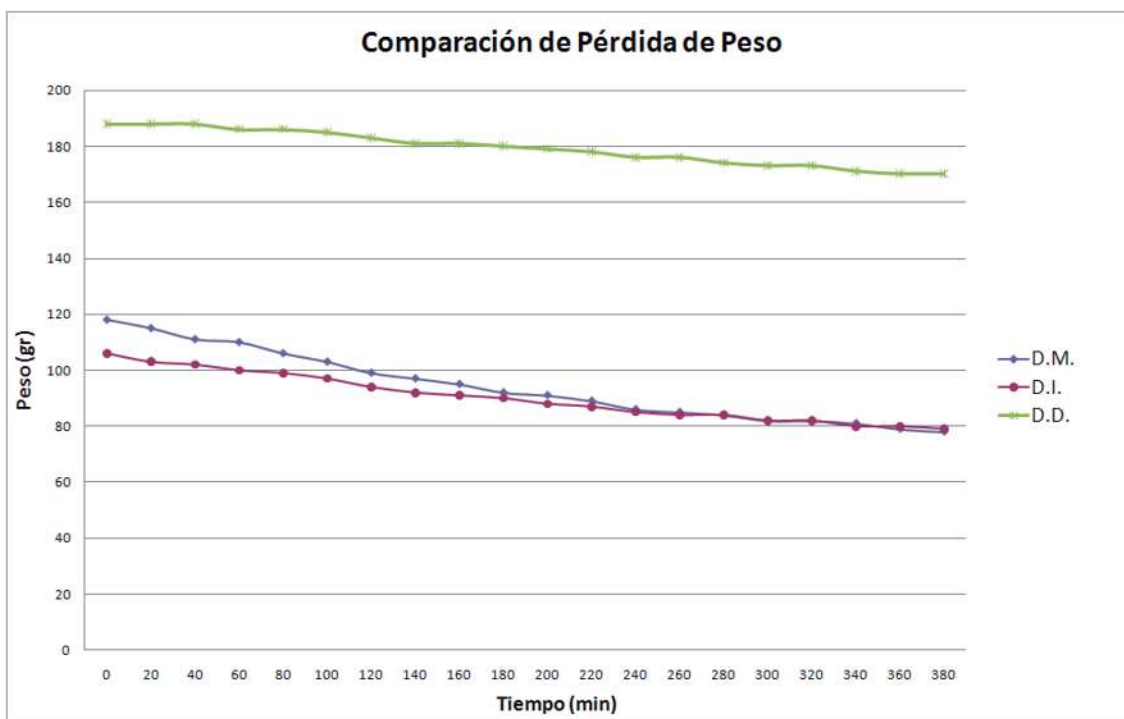


Figura 11. Análisis comparativo de pérdida de peso del plátano deshidratado por diferentes procesos.

Los datos mostrados en este estudio fueron obtenidos para plátano entero; la fruta entera fue muy difícil de secar, ya que el agua no se eliminó uniformemente, sino que se eliminó primero el agua de la superficie y posteriormente la del centro, esto hizo que el tiempo de exposición fuera muy largo (hasta por una semana), e hizo que la fruta tuviera texturas y sabores muy particulares; el plátano en estas condiciones no fue del todo seco, tuvo una textura blanda y fue demasiado acaramelado; los sabores y olores del plátano se intensificaron. Cabe mencionar que para el caso del D.D. el plátano se deshidrató entero, y para los otros dos procesos se hizo en rebanadas.

En cuanto al aspecto visual, en el D.I. el plátano rebanado se oscureció en las primeras 4 h de exposición, debido a que la temperatura de este deshidratador probablemente no alcanzó a inactivar las enzimas oxidativas como la polifeniloxidasasa (PPO) responsable del oscurecimiento. De acuerdo con Gooding y col. 2002, hay evidencia de la presencia de PPO en el plátano. Cabe señalar que con el S.D. se obtuvieron plátanos rebanados secos con características texturales adecuadas, aunque este tipo de secado no se recomienda tanto, ya que si se expone la fruta a los

rayos del sol directamente durante un periodo de tiempo largo puede ser que se pierdan vitaminas y nutrientes, además de que ocurren cambios estructurales de los componentes químicos, tal como mencionan Vazquez y col. (2005).

Por otra parte, en el plátano deshidratado en el D.I. se observó un oscurecimiento generalizado en la muestra, probablemente por la activación de las enzimas oxidativas. Por otro lado, en el interior de este deshidratador no se alcanzó una temperatura mayor a los 46 °C, por lo que no se eliminó el agua completamente y el secado no fue uniforme, lo cual hizo que fuera un producto seco en las orillas y muy blando en el centro. Cabe mencionar que la temperatura alcanzada en este deshidratador favoreció las reacciones oxidativas de la PPO; se tiene reporte que la actividad óptima de la PPO está en el rango de 35-40 °C (Guadarrama y col. 1995).

En cambio en el S.M. se realizaron varias jornadas exclusivas para este secador y en todas ellas la temperatura máxima alcanzada en el interior de la cámara de secado fue de entre 55-80 °C, obteniéndose un plátano con textura crujiente y uniforme; no obstante, tuvo cambios de coloración debidos probablemente a reacciones de Maillard o de caramelización (se tiene reportado que éstas reacciones se desarrollan a baja velocidad cuando se aplican temperaturas bajas de secado en presencia de azúcares reductores y proteínas). Básicamente se obtuvo un producto con características agradables a la vista.

Con base en los resultados anteriores, se decidió trabajar un plátano con estado de maduración 5, más cercano hacia el verde que hacia el maduro, y secar con el proceso de deshidratación mixto.

7.2 Cinética de secado del deshidratador solar mixto

Para el secado con el deshidratador mixto se midieron las siguientes variables implicadas en el proceso: temperaturas interna (aire al interior del gabinete de secado), externa (ambiental y cubierta del colector), temperatura de la muestra, radiación, el peso del fruto, la pérdida de humedad, para de esta manera determinar la cinética de secado, y así para secados posteriores sería más fácil predecir el comportamiento del plátano ante este proceso; en los Cuadros 4 y 5 se muestran los resultados de la primera jornada de secado.

Cuadro 4. Datos de la jornada de secado: temperatura y peso.

Tiempo (min)	T ^o C ambiente	T ^o C cubierta	T ^o C lamina	T ^o C muestra	T ^o C aire interno	Peso
0	26.6	31	52	27.4	56	113
20	23.6	30	58	30.8	64	112
40	21.6	32	59	32.4	64	111
60	22.4	32	60	33.7	70	109
80	23.3	37	63	35.3	71	107
100	24.1	36	65	38.0	76	106
120	24.3	36,5	64	38.9	79	105
140	25.4	35	66	40.8	79	104
160	25.4	36	62	41.7	72	102
180	25.2	35	55	42.6	78	100
200	25.6	35	45	43.7	78	98
220	25.5	33	30	45.7	78	96
240	26.9	36	57	48.0	80	93
260	26.9	36	57	48.0	80	93
280	25.6	35	61	48.0	72	92
300	25.4	33	61	47.9	70	91
320	26.2	34	40	42.7	68	89
340	26.3	24	33	33.1	36	88
360	25.8	22	30	33.4	36	88

Cuadro 5. Datos de la jornada de secado: radiación y humedad.

			v/m2	v/m2/10		
Tiempo (min)	Radiación* (Volts)	% de peso	Radiación		KgH/kgS	Humedad gas
0	1.05	100	700	70	0.8	0
20	1.042	99.1150	694.67	69.47	0.79292	0.00708
40	1.048	98.2301	698.67	69.87	0.785841	0.014159
60	1.044	96.4602	696.00	69.60	0.771681	0.028319
80	1.031	94.6903	687.33	68.73	0.757522	0.042478
100	1.042	93.8053	694.67	69.47	0.750442	0.049558
120	1.038	92.9204	692.00	69.20	0.743363	0.056637
140	1.1	92.0354	733.33	73.33	0.736283	0.063717
160	1.165	90.2655	776.67	77.67	0.722124	0.077876
180	1.028	88.4956	685.33	68.53	0.707965	0.092035
200	1.146	86.7257	764.00	76.40	0.693805	0.106195
220	1.028	84.9558	685.33	68.53	0.679646	0.120354
240	1.169	82.3009	779.33	77.93	0.658407	0.141593
260	1.164	82.3009	776.00	77.60	0.658407	0.141593
280	1.153	81.4159	768.67	76.87	0.651327	0.148673
300	1.134	80.5310	756.00	75.60	0.644248	0.155752
320	1.126	78.7611	750.67	75.07	0.630088	0.169912
340	0.582	77.8761	388.00	38.80	0.623009	0.176991
360	0.473	77.8761	315.33	31.533	0.623009	0.176991

Esta jornada de secado fue realizada el día 7 de diciembre del 2007 empezando las mediciones a las 10:15 de la mañana. La jornada de medición tuvo una duración de 6 h, y los datos fueron tomados cada 20 min.

En la Figura 12 se muestra una curva comparativa de las diferentes temperaturas involucradas en el proceso, observándose que las temperaturas más elevadas fueron las del interior de la cámara de secado, lo cual demuestra que se pudo tener una temperatura elevada en el interior para que fuera posible el proceso de secado de manera apropiada.

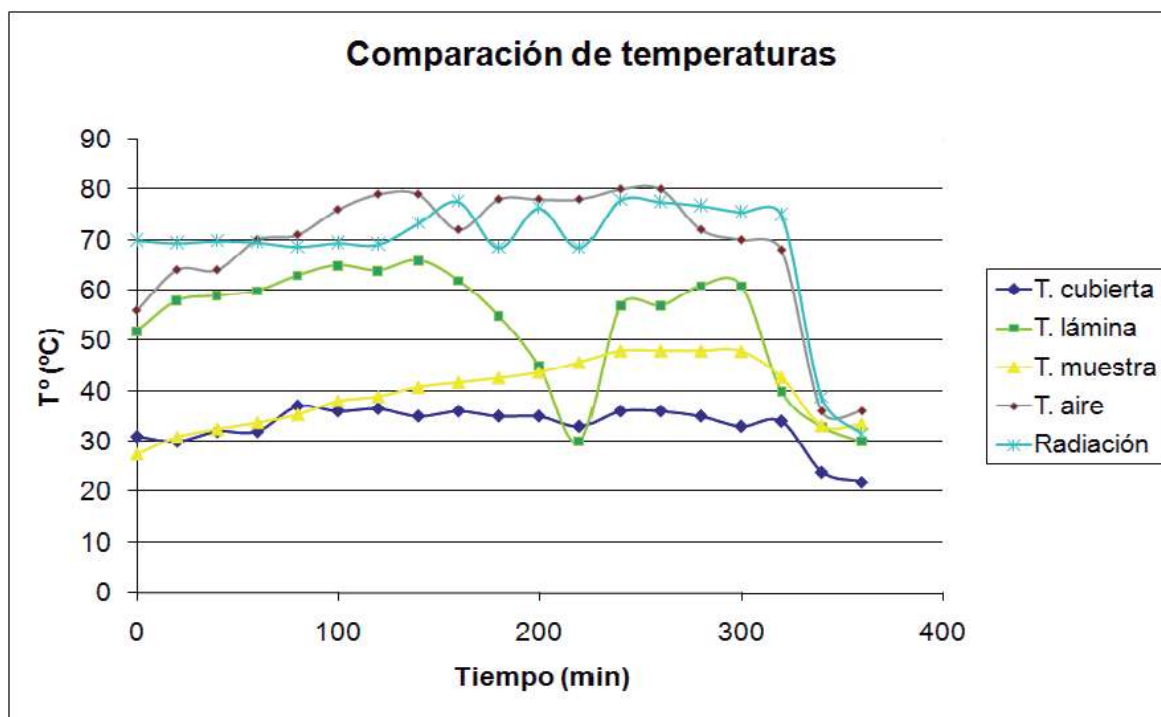


Figura 12. Comparación de distintas temperaturas en el D.M.

La radiación es un factor de vital importancia en el proceso, y la fluctuación de los valores de este parámetro se debió a la presencia de nubes; sin embargo, la variación fue mínima; la temperatura de la lámina sí tuvo cambios importantes, y esto no alteró la temperatura interior; esto indica que la radiación influyó más sobre la temperatura interior que la temperatura de la lámina; todo esto se debió al material del que está hecho la cámara, no por esto es menos significativa la presencia del colector.

Mientras que la temperatura de la muestra se mantuvo constante alrededor de 30-40 °C lo cual hizo posible la transferencia convectiva de calor entre la muestra y el

interior de la cámara debido a la diferencia en estas dos temperaturas. En la Figura 13 se observa la comparación entre la temperatura ambiente y la interna, y se observa como la temperatura ambiente y sus variaciones no alteraron la temperatura interna.

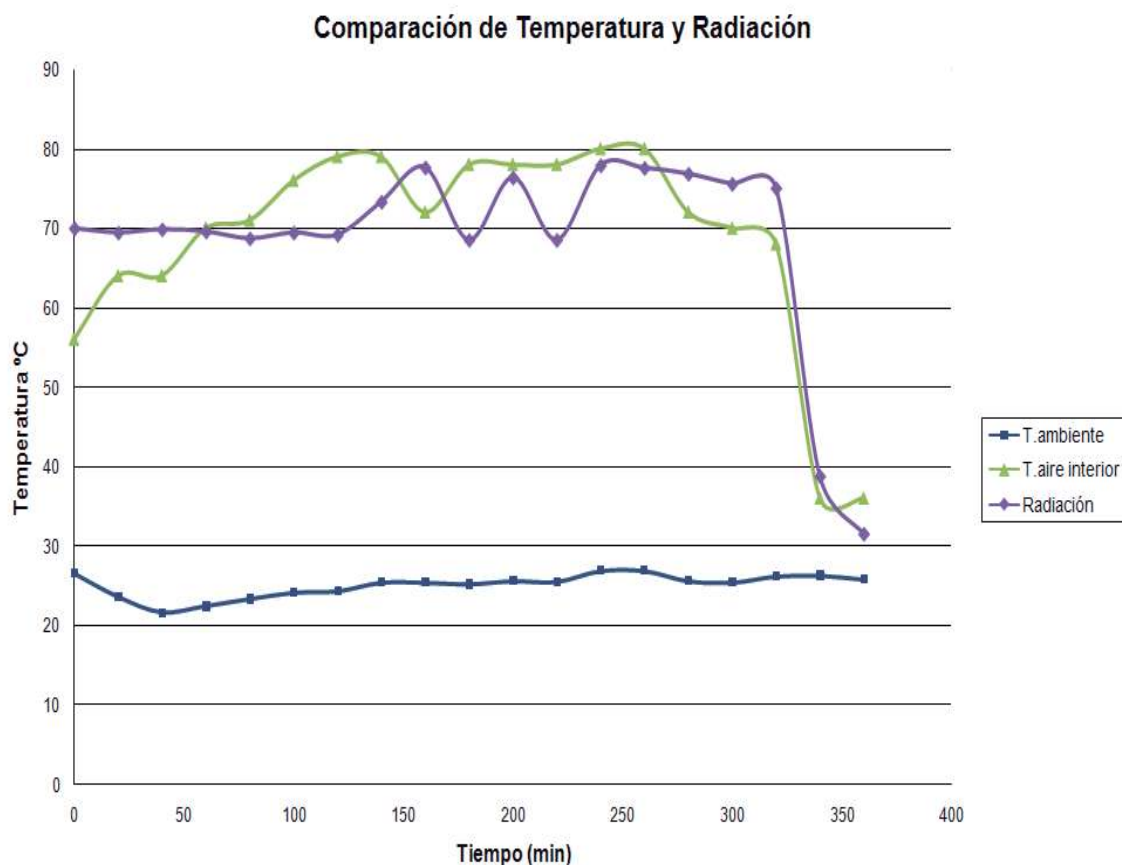


Figura 13. Comparación de la temperatura y radiación durante el proceso de secado en el deshidratador mixto.

En la Figura 14 se observa la pérdida de peso en el D.M., la cual fue de un 21% del peso total (muestra fresca pelada y rebanada); se tuvo a lo largo de la jornada un descenso del peso continuo, teniendo en cuenta que solo se monitorearon 6 h. La muestra se mantuvo en el deshidratador 18 h más en exposición, y al final de este tiempo se logró una reducción del 89% de su peso.

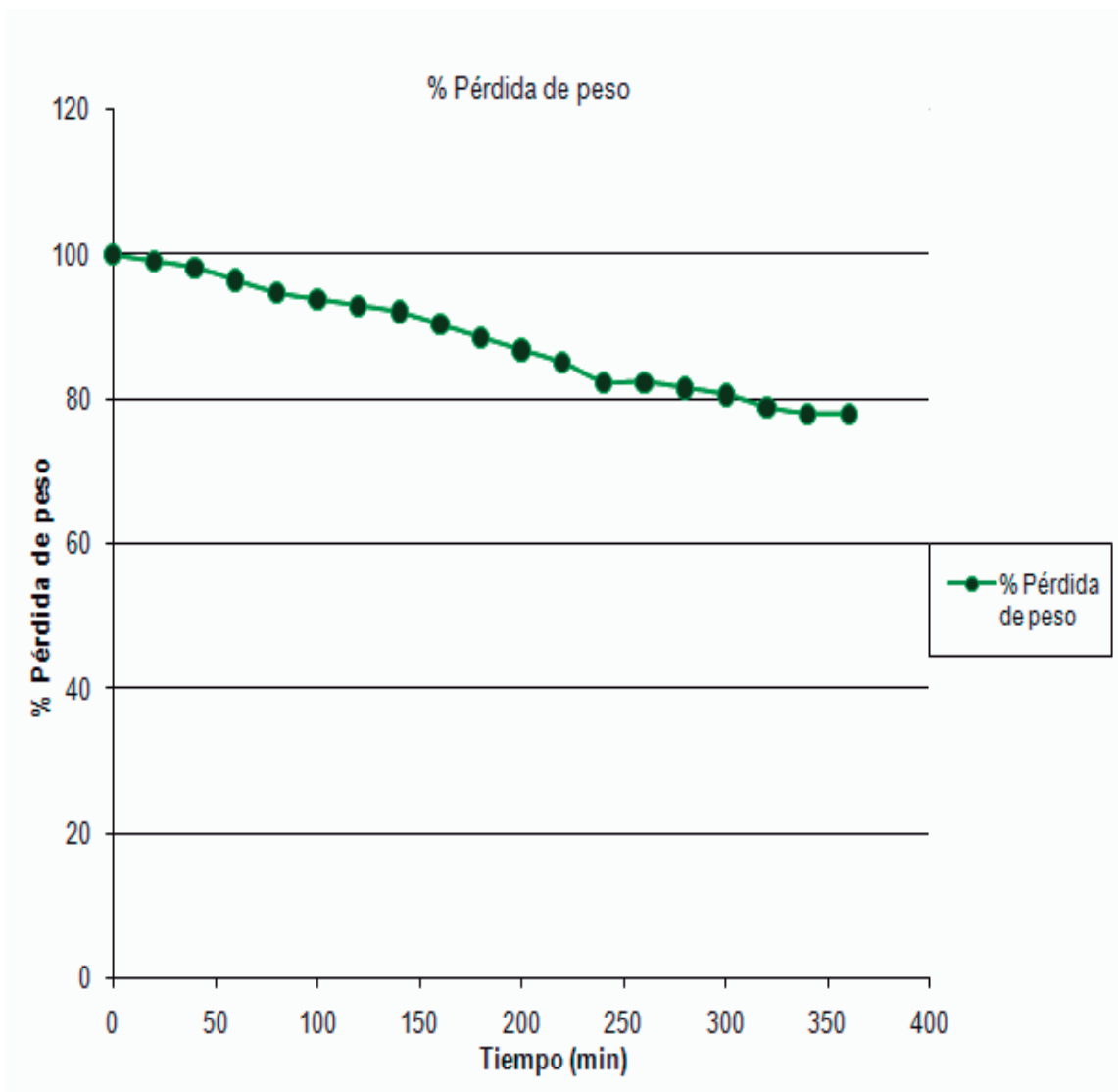


Figura 14. Pérdida de peso en el D.M.

En la Figura 15 se muestra la pérdida de humedad en forma de gas en el deshidratador mixto.

El porcentaje de pérdida de humedad se calculó de acuerdo con los datos de porcentaje de peso en fresco y la fracción (0.008) que correspondió al peso en seco, tomando en cuenta que el plátano fresco tuvo un 80% de humedad.

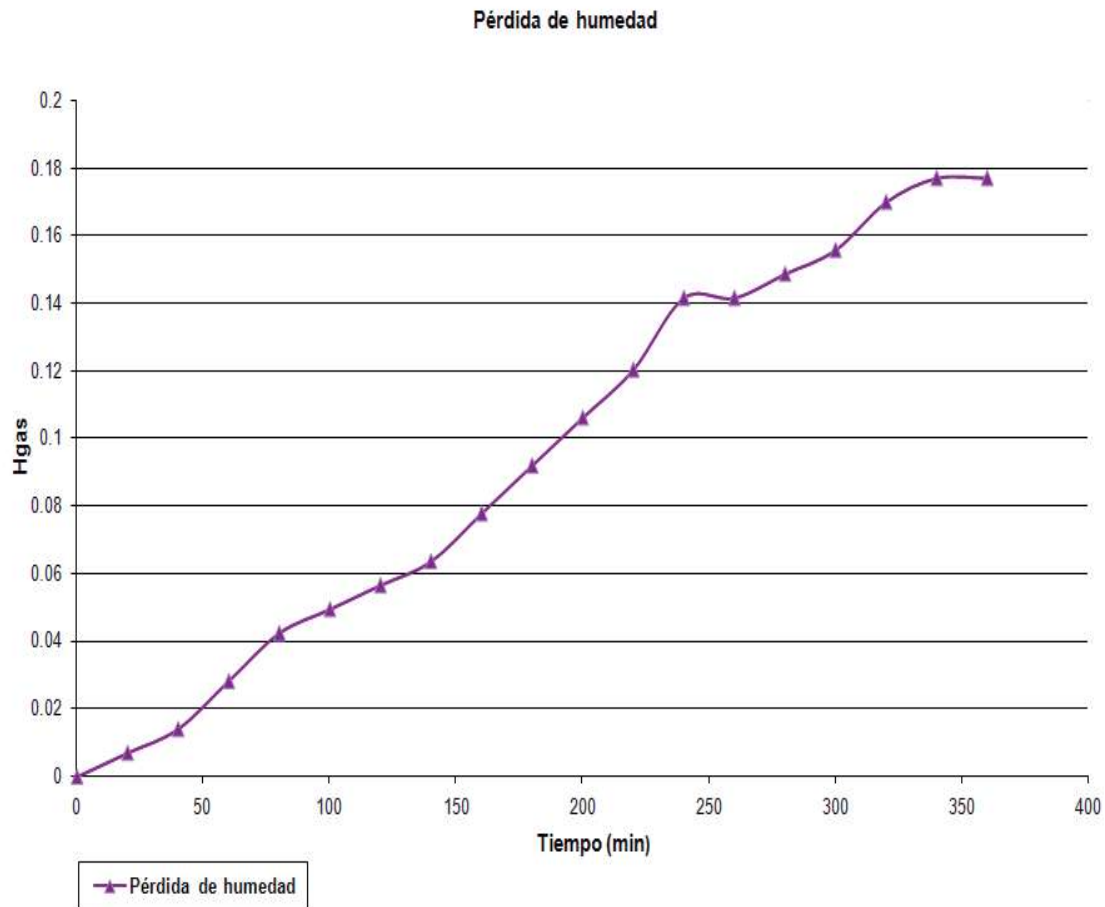


Figura 15. Pérdida de humedad en forma de gas en el D.M.

Cálculo de la eficiencia del proceso

Tomando en cuenta los datos anteriores y utilizando las siguientes fórmulas se calculo la eficiencia del proceso de secado (Cuadro 6), recordando de nuevo que el resultado de esto dependió en gran parte de las horas monitoreadas durante el proceso, al incrementar el tiempo de monitoreo la eficiencia aumento.

Cuadro 6. Cálculos de la eficiencia del proceso de secado.

Factor de emisión contaminante de electricidad - Mexico (tCO ₂ /kWh)	0.000508
Calor latente de vaporización 33°C (kJ/kg)	2561.7
Periodo de secado (días)	2
Meses trabajados cada año	9
Capacidad de producto fresco (kg)	9
Número de deshidratadores solares	1
Factor de humedad libre del producto	0.8
Cantidad anual de producto fresco (kg)	810
Cantidad anual de agua evaporada del producto (kg)	648
Energía útil extraída anualmente del proceso (kJ)	1659981.6
Factor de eficiencia de producción de calor	0.32
Línea base del PEI (kJ)	5187442.5
Línea base de PEI (kWh)	1440.95625

Utilizando la siguiente formula:

$$\text{Eficiencia} = (\text{Energía Útil} / \text{Energía de entrada}) 100$$

Donde:

Energía útil: (capacidad del producto en fresco (kg)) (0.78) (calor latente de vaporización) (1000)

Energía de entrada: (promedio de radiación de la jornada) (área del colector m²) (tiempo)

Sustituyendo:

$$\text{Eficiencia} = (6 (0.78) (2561.7) / 686.42 (1) (14) (3600)) 100$$

$$\text{Eficiencia} = \mathbf{34.65\%}$$

Otro aspecto importante por mencionar es la hora en la cual se debe de empezar el proceso, en ensayos de prueba y error se descubrió que poniendo la muestra cuando al sol apenas esta saliendo y que la temperatura del ambiente es muy baja el oscurecimiento del plátano es inmediato, sin embargo, si el proceso empieza cuando el sol ya emergió a plenitud y la temperatura del ambiente esta entre 20 y 26 °C no se favoreció el oscurecimiento.

7.3 Análisis microbiológico

Se ha comprobado en estudios que al preservar los alimentos utilizando calor, y bajando la actividad de agua podría incrementarse la destrucción o inactividad de microorganismos patógenos, lo cual hace que los alimentos deshidratados de forma casera sean seguros (Dispersio y col., 2005).

Parte de la determinación de la vida de anaquel o vida útil de un producto es el seguimiento del crecimiento microbiano en el alimento para garantizar la inocuidad del producto al consumidor. Para ello se hicieron análisis a las muestras empacadas previamente al vacío siguiendo los procedimientos de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

Los análisis fueron realizados periódicamente; en los primeros tres análisis el intervalo de tiempo transcurrido entre cada uno fue de 30-32 días y en el periodo entre el tercero y cuarto el tiempo transcurrido fue de 60 días.

Las NOM marcan como un mínimo de crecimiento en colonias de 25-250 por placa para considerar que en la muestra exista riesgo contra la salud, por debajo de este rango el alimento es inocuo (NOM -092 -SSA1- 1994).

Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 7, donde se puede ver que el crecimiento microbiológico entre cada una de las jornadas fue mínimo y no afecto al producto. De hecho, aun en el último análisis no existió un crecimiento en el que se considerará descartable el producto por contaminación microbiológica.

La cuenta de bacterias mesofílicas aerobias se mantuvo constante en 14 UFC g/ml hasta el último mes, donde aumentó a 26 UFC g/ml; de la misma manera el crecimiento para Coliformes aumento en los últimos dos análisis; en los primeros dos se mantuvo sin crecimiento, llegando a ser en el cuarto de 40 UFC g/ml. Para el caso

de los hongos y levaduras hubo crecimiento al principio y al final de los análisis; estos cambios pudieron deberse a que tal vez el material en el que se empaco el plátano no era del todo impermeable lo cual permitió el leve crecimiento.

Cuadro 7. Resultados de análisis microbiológico.

Bacterias mesofílicas aerobias

Análisis	*UFC (gr. y/o ml)
1	14
2	14
3	14
4	26

*UFC: unidades formadoras de colonias

Coliformes totales

Análisis	*UFC (gr. y/o ml)	Cuenta en tubo
1	0	N/C
2	0	N/C
3	20	N/C
4	40	N/C

*UFC: unidades formadoras de colonias

N/C: no crecimiento.

Hongos y levaduras

Análisis	*UFC (gr. y/o ml)
1	27
2	0
3	0
4	23

*UFC: unidades formadoras de colonias

En todos los análisis, la identificación y cuantificación de *Salmonella* y *Staphylococcus aureus* fue negativo.

El crecimiento de todos los grupos de microorganismos evaluados no fue significativo en ninguno de los casos; para este estudio se muestra la interpretación de UFC en base a las colonias que se reportaron en la dilución más baja; según la NOM-092-SSA1-1994 las placas que presenten un valor inferior a 250 se reporta como <100, por razones de análisis se reportó el número exacto de UFC.

La cuenta baja de cada una de las determinaciones nos demuestra que se controlaron las condiciones sanitarias desde el inicio del proceso, y el empacado al vacío contribuyó a la conservación del producto.

Por otra parte, la actividad de agua (A_w) del plátano deshidratado fue de 0.510; recordemos que los valores de A_w mínimos para el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras dañinos para la salud humana esta en el rango de 0.86-0.91 (Macazaga, 2008); lo cual nos indica que el crecimiento de microorganismos en la muestra puede ser mínimo (consecuencia de la adaptación a las condiciones externas) o nulo.

7.4 Análisis sensorial

En la Figura 16 se pueden apreciar las características visuales del producto empacado. Y los resultados del análisis sensorial se muestran en los Cuadros 8 y 9.



Figura 16. Plátano deshidratado empacado al vacío.

Los resultados obtenidos no fueron muy diferentes a los esperados; para la apariencia se esperaba que tuviera valores entre el 6 y 8, y a lo largo del análisis bajo a menos de 6; el atributo más importante de la apariencia fue el color, el cual cambio a lo largo del tiempo de claro a oscuro. Recordemos que el etileno lo producen las frutas y las verduras para completar su maduración (<http://www.catalyticgenerators.com/loshecdelet.html>); por lo cual se piensa que a pesar del almacenamiento la fruta siguió su proceso de maduración aunque más lento, esto también se vio reflejado en la textura y el sabor.

Por otra parte la textura es uno de los mayores atributos de calidad de todas las frutas (Charles y Tung, 1973). En relación a este parámetro, se pudo observar que con el paso del tiempo este atributo tuvo el cambio más significativo, ya que de estar crujiente al principio, posteriormente se volvió blando, y el trabajo mecánico al masticarlo se hizo más complicado por su consistencia chiclosa; este cambio creemos se debió también a la permeabilidad del empaque que permito el paso del aire y humedad.

Dado que la textura empezó a cambiar notablemente a partir de la semana 8, se determinó realizarle un análisis de humedad al producto, obteniéndose un 8.9%; a la semana 16 se le volvió a hacer el mismo análisis, obteniéndose un 10.7%, este cambio nos indico que el empaque permitió cierta permeabilidad al agua en función del tiempo de almacenamiento, por lo que el producto fue humedeciéndose; a pesar de este cambio el alimento siguió considerándose de humedad baja ya que no sobre pasa del 25% de humedad (Jay, 2000).

Al evaluar las características del plátano deshidratado se observaron cambios debido al proceso de maduración, manifestándose como un incremento en el aroma, sabor y dulzor del plátano, aun en el periodo de almacenamiento. Incluso pudo notarse un cambio de ligera coloración oscura debido a este proceso natural por lo cual el atributo de apariencia disminuyo a lo largo de los análisis.

Cuadro 8. Resultados del análisis sensorial.

Apariencia y textura			
Semana	Apariencia	Textura	Textura bucal
0	7	7	5
4	7	5	5
8	7.5	4.7	5.3
16	6.9	4	5.8

Datos de Textura		
Semana	Textura G fuerza	Desviación estándar
4	134	40.2075
8	6612	4336.83
16	163	37.2156007

Aceptabilidad	Porcentaje de aceptación			
	Semana			
	0	4	8	16
MGM	10.4	18.18	18	40
MGMOD	37.5	72.72	64	40
MGL	27	9	9	10
NGND	19	0	0	0
MD	6	0	9	10
MDM	0	0	0	0
MDE	0	0	0	0

Cuadro 9. Resultados de Perfil de sabor

Perfil de sabor							
	Aroma		Sabor		Resabio		
Semana	Plátano	Caramelo	Plátano	Dulzura	Caramelo	Astringencia	Plátano
0	1.95	1.25	2.81	2.29	1.91	1.25	2.58
4	2.18	1.63	3.27	2.63	1.90	2.09	2.81
8	2.54	2.27	3.36	2.72	2.18	2.36	2.45
16	2.5	2.4	3.5	2.8	2.1	1.5	3.2

8.0 CONCLUSIONES

El deshidratador que mejor resultado dio fue el de tipo mixto, con el que se obtuvo un producto deshidratado que fue aceptado sensorialmente. También se logró controlar las condiciones sanitarias iniciales del proceso, y con ello un producto que cae dentro de las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana, lo cual permitió prolongar la vida útil del producto. Con este proceso de deshidratación se propone una tecnología de fácil construcción y de bajo costo para el deshidratado del plátano.

9.0. BIBLIOGRAFIA

- Arvanitoyannis, I.S., Mavromatis, A.G., Grammatikaki-Avgeli, G., Sakellariou, M. 2008. Banana: cultivars, biotechnological approaches and genetic transformation. *International Journal of Food Science and Technology*. 43:1871-1879.
- Charles, R.J., Tung, M.A. 1943. Physical, Rheological and chemical properties of banana during ripening. *Journal of Food Science*. 38.
- Charley, 2001. *Temas en Tecnología de Alimentos*. Limusa, México. 13-33 pp.
- Cortéz, G.R.M., Vargas, M.J., Martínez, F.H.E., Baltasar, A.G. 2007. Análisis experimental de la cinética, eficiencia y viabilidad del secado solar de mango (*Mangifera indica L.*) en el Estado de Michoacán. 1er. Congreso de Energías Alternativas. Querétaro, Qro. 2 al 4 de julio del 2007.
- Costell, E., Fiszman, S.M., Durán L. 2002. *Temas en tecnología en los alimentos*. Vol 1. En *Propiedades Físicas I: Reología de sólidos y textura*. Alfaomega, Mexico. 236-238 pp.
- Daun, H., Gilbert, S. G., Ashkenazi, Y., Henig, Y. 1973. Storage Quality of Bananas Packaged in Select Permeability Films. *Journal of Food Science*, 38:1247-1250.
- Del Valle, J.M., Palma, T. 2002 *Temas en tecnología en los alimentos*. Vol 1 En: *Preservación II Atmosferas controladas y modificadas*. Alfaomega, Mexico. 110-111 pp.
- Dispersio P.A., Kendall, P.A., Sofos, J. 2006. Sensory evaluation of home fruit prepared using treatments that enhance destruction of pathogenic bacteria. *Journal of Food Quality*, 29:47-64.
- Fox, B., Cameron, A. 2002. *Ciencia de los alimentos, nutrición, y salud*; Limusa. México D.F. 303 pp.
- Gooding, P.S., Bird C., Robinson, S.P. 2002. Actividad de la polifenol oxidasa y expresión génica de los bananos Goldfingers (AAAB FHIA-01) *INFOMUSA* Vol 10, no. 2.
- <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAF%CDA%20DE%20PL%C1TANO.PDF>
- <http://www.catalyticgenerators.com/loshecdelet.html>

<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml>

Jay, J.M. 2000. Microbiología Moderna de los Alimentos. Editorial Acribia. España. 159-343 pp.

Macazaga, A.R. 2008. Evaluación de las propiedades nutricionales y fisicoquímicas del hongo *Pleurotus ostreatus* deshidratado usando diferentes métodos y condiciones de secado. U.M.N.S.H. Facultad de Biología. Morelia, Michoacán. 7-10 pp.

Mendoza, F., Aguilera, J.M. 2004. Application of image analysis for classification of ripening bananas. Journal of food Science, 69(9):E471-E477

Meyer, M., Paltrinieri, G. 1981. Elaboración de frutas y hortalizas. Editorial Trillas. México.

Potter, N. 1973. La ciencia de los alimentos. Harla. México. 127-230 pp.

Ramirez- Martinez, J.R., Levi, A., Padua, H., Bakal, A. 1977. Astringency in an intermediate moisture banana product. Journal of Food Science. 42:1201-1203.

Sancho, J., Bota, E., de Castro J.J. 2002. Introducción al Análisis Sensorial de los Alimentos. Alfaomega, México. 23-120 pp.

Thipayarat, A. 2007. Quality and physiochemical properties of banana paste under vacuum dehydration. International Journal of Food Engineering, 3(4):1-10.

Treybal, R.C. 1965. Operaciones con transferencia de masa". Cap. XII. 653 pp.

Vázquez, C., De Cos Al., López, N.C. 2005. Alimentación y nutrición. Manual Teórico-Práctico. Ediciones Díaz-Santos. España.

Velásquez, C.L.M. 2006. Cuba. Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos.

Weaver, C., Charley, H. 1974. Enzymatic Browning of ripening bananas. Journal of Food science, 39:1-3.

www.cedagro.col.gob.mx/platano2

www.fcyt.umss.edu.bo/investigacion/cesa/articulos/ARTICULO%201-APLICACION%20DEL%20ACP.pdf

www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm

www.sagarpa.gob.mx/dlg/chiapas/agricultura

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cabrera_v_a/capitulo5.pdf

10.0 ANEXOS

PROCESO DE DESHIDRATACION



Figura 17. Colocación del plátano en el deshidratador.



Figura 18. Plátano en bandejas de deshidratador.

JORNADA DE SECADO DE FEBRERO DEL 2007.

Cuadro 10. Resultados de la jornada de Febrero del 2007: peso y temperatura.

Hora	Tiempo (min)	Temperatura interior	Temperatura ambiente	Peso	% de peso
10:30	0	35	18.4	60	100
10:50	20	42	19.8	59	98.3
11:10	40	46	21.4	57	95
11:30	60	49	20.9	56	93.3
11:50	80	53	22.3	55	91.7
12:10	100	55	23.2	53	88.3
12:30	120	47	23.5	52	86.7
12:50	140	55	23.9	51	85
13:10	160	55	24.9	50	83.3
13:30	180	35	24	50	83.3
13:50	200	53	24.9	50	83.3
14:10	220	40	24.4	49	81.7
14:30	240	32	24.4	49	81.7
14:50	260	35	24	48	80
15:10	280	31	23.5	48	80
15:30	300	32	24.7	48	80
15:50	320	31	24.7	48	80
16:10	340	30	23.6	48	80
16:30	360	30	23.6	48	80
16:50	380	29	23.2	48	80
17:10	400	35	23.1	47	78.3
17:30	420	37	23.8	48	80
17:50	440	35	22.9	48	80
18:10	460	30	22.4	48	80

Cuadro 11. Resultados de radiación y humedad.

Tiempo (min)	*Radiación (w/m2)	R/10	KgH/kgS	Hgas
0	575	57.5	0.8	0
20	722	72.2	0.786667	0.013333
40	752	75.2	0.76	0.04
60	807	80.7	0.746667	0.053333
80	833	83.3	0.733333	0.066667
100	958	95.8	0.706667	0.093333
120	192	19.2	0.693333	0.106667
140	970	97	0.68	0.12
160	891	89.1	0.666667	0.133333
180	188	18.8	0.666667	0.133333
200	925	92.5	0.666667	0.133333
220	153	15.3	0.653333	0.146667
240	216	21.6	0.653333	0.146667
260	220	22	0.64	0.16
280	188	18.8	0.64	0.16
300	751	75.1	0.64	0.16
320	721	72.1	0.64	0.16
340	190	19	0.64	0.16
360	153	15.3	0.64	0.16
380	144	14.4	0.64	0.16
400	338	33.8	0.626667	0.173333
420	221	22.1	0.64	0.16
440	47	4.7	0.64	0.16
460	74	7.4	0.64	0.16

*Datos obtenidos de la pagina <http://www.ooapas.gob.mx/estacionmet.asp>

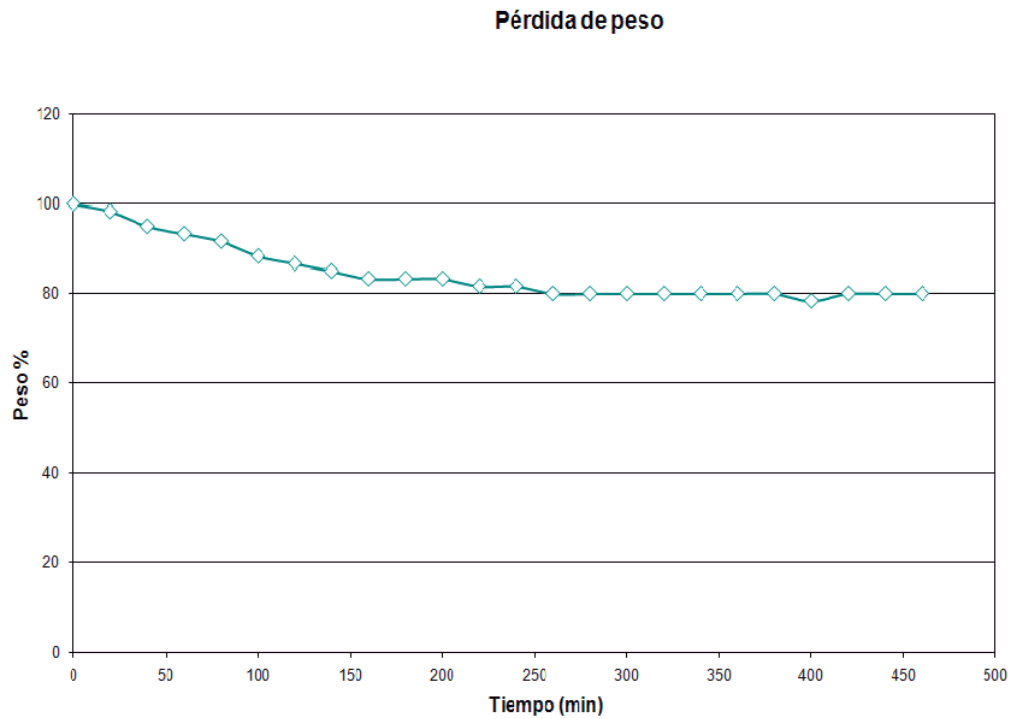


Figura 19. Pérdida de peso de plátano en deshidratador mixto.

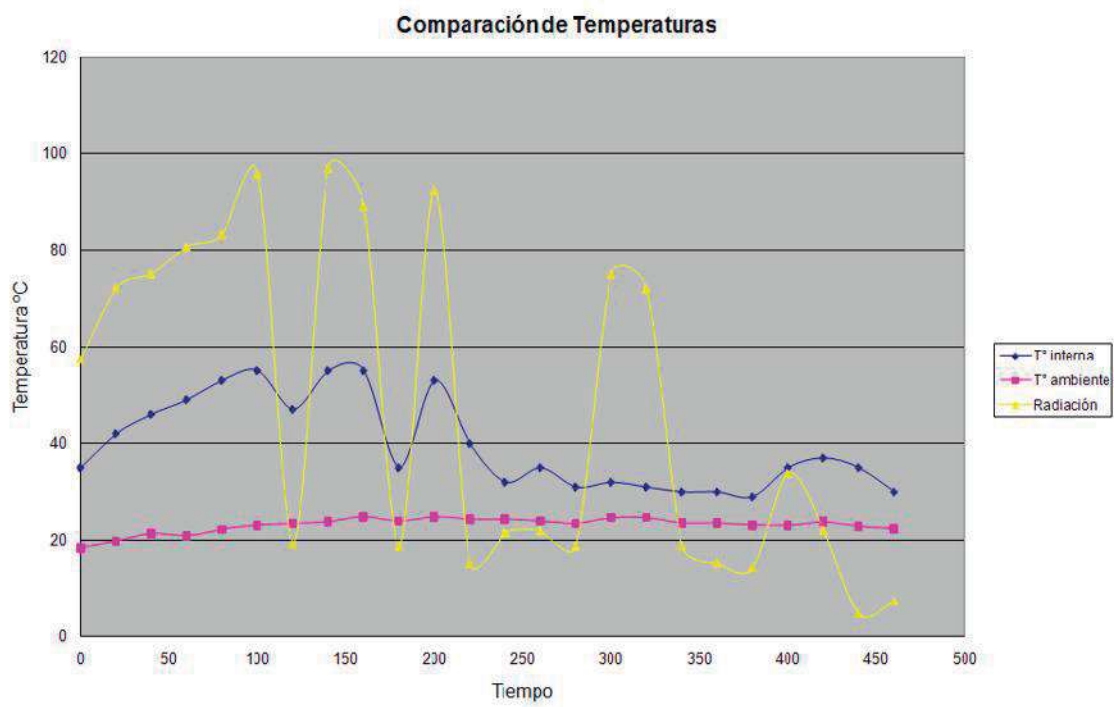


Figura 20. Comparación de temperaturas alcanzadas en el deshidratador.
mixto

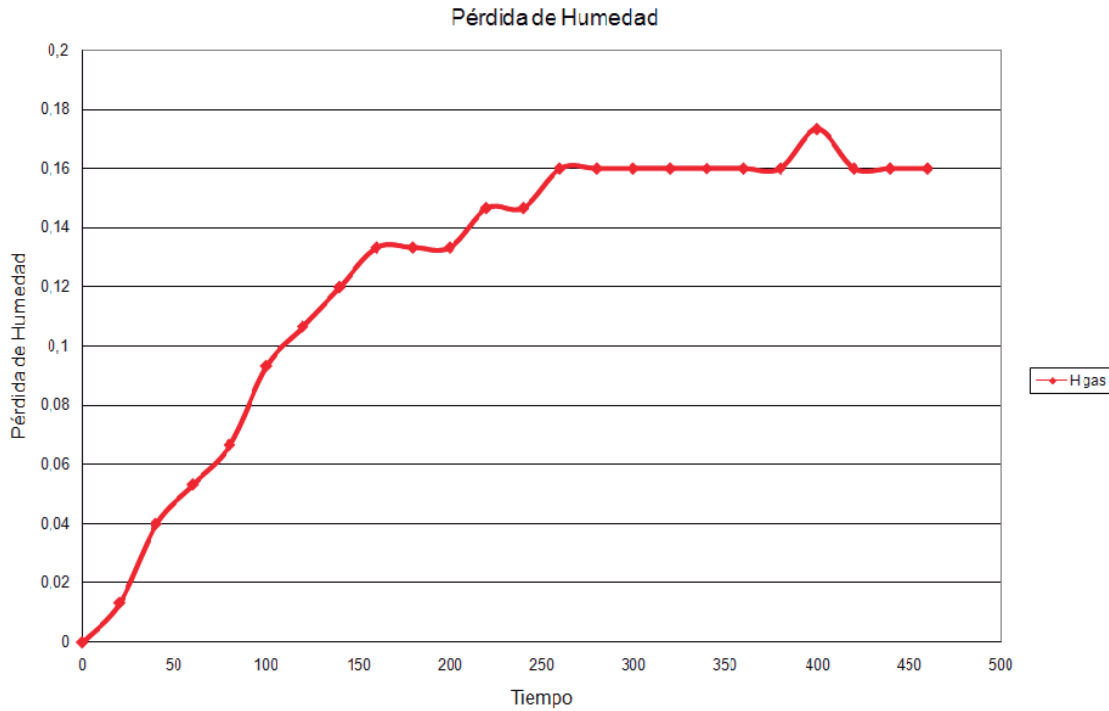


Figura 21. Pérdida de humedad del plátano deshidratado en secador mixto.

EFICIENCIA DE JORNADA DE SECADO DICIEMBRE 2007 DESHIDRATADOR MIXTO.

$$\text{Eficiencia} = (\text{Energía Útil} / \text{Energía de entrada}) 100$$

Donde:

Energía útil: (capacidad del producto en fresco (kg)) (0.78) (calor latente de vaporización) (1000)

Energía de entrada: (promedio de radiación de la jornada) (área del colector m²) (tiempo)

Sustituyendo:

$$\text{Eficiencia} = (6 (0.8) (2561.7)(1000) / 686.42 (1) (14) (3600)) 100$$

$$\text{Eficiencia} = \mathbf{52.14\%}$$

PROCESO DE EMPACADO DE PLATANO DESHIDRATADO



Figura 22. Plátano a punto de ser empacado

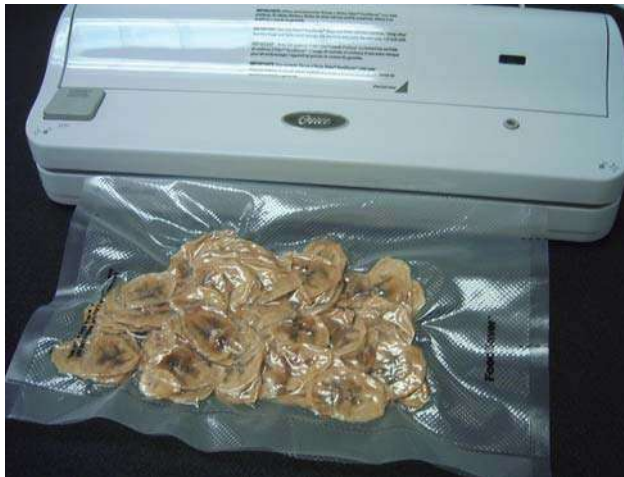


Figura 23. Plátano empacado al vacío.



Figura 24. Producto final.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Cuadro 12. Resultados semana cero de almacenamiento.

Primer análisis microbiológico

	cuenta estándar		17/04/2008
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	2	3	1
Duplicado	1	10	5
Triplicado	1	5	3

	Cuenta en tubo		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	0	0	0
Duplicado	0	0	0
Triplicado	0	0	0

	Coliformes en placa		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	0	0	0
Duplicado	0	0	0
Triplicado	0	0	0

	Hongos y levaduras		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	2	1	1
Duplicado	3	1	1
Triplicado	3	2	1

Negativo para staphylococcus aureus

Negativo para salmonella

Cuadro 13. Resultado semana cuatro de almacenamiento.

Segundo análisis microbiológico

	cuenta estándar		12/05/2008
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	1	1	2
Duplicado	2	1	2
Triplicado	1	2	3

	Cuenta en tubo		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	0	0	0
Duplicado	0	0	0
Triplicado	0	0	0

	Coliformes en placa		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	0	0	0
Duplicado	0	0	0
Triplicado	0	0	0

	Hongos y levaduras		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	0	0	0
Duplicado	0	0	0
Triplicado	0	0	0

Negativo para staphylococcus aureus

Negativo para salmonella

Cuadro 14. Resultados semana 8 de almacenamiento.

Tercer análisis microbiológico

	Cuenta estándar		22/06/2008
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	1	1	1
Duplicado	2	1	1
Triplicado	2	2	2

	Cuenta en tubo		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	0	0	0
Duplicado	0	0	0
Triplicado	0	0	0

	Coliformes en placa		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	6	2	0
Duplicado	172	22	5
Triplicado	0	0	0

	Hongos y levaduras		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	0	0	0
Duplicado	0	0	0
Triplicado	0	0	1

Negativo para staphylococcus aureus
Negativo para salmonella

Cuadro 15. Resultados semana 16 de almacenamiento.

Cuarto análisis microbiológico

	cuenta estándar		11/08/2008
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	4	3	1
Duplicado	2	0	4
Triplicado	1	4	1

	Cuenta en tubo		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	0	0	0
Duplicado	0	0	0
Triplicado	0	0	0

	Coliformes en placa		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	1	1	0
Duplicado	6	2	0
Triplicado	5	1	0

	Hongos y levaduras		
Dilución	-1	-2	-3
Muestra	2	1	2
Duplicado	2	2	1
Triplicado	3	1	1

Negativo para staphylococcus aureus

Negativo para salmonella

ANÁLISIS SENSORIAL



Figura 25. Muestra para análisis sensorial



Figura 26. Análisis de textura bucal.



Figura 27. Análisis sensorial de olor



Figura 28. Panelistas en el análisis

Cuadro 16. Sensorial semana 0.

Primer sensorial				
CATADOR	APARIENCIA	TEXTURA	TEXTURA BUCAL	ACEPTABILIDAD
1	9	9	8	MGM
2	2	9	5	MGL
3	5	7	4	MGMOD
4	8	6	6	MGL
5	5	7	3	MD
6	9	8	5	MGL
7	9	6	8	MGMOD
8	7	7	5	MGL
9	8	10	2	NG ND
10	8	8	4	MGMOD
11	8	7	4	MGMOD
12	9	6	5	MGM
13	8	4	5	MGMOD
14	7	5	4	MGMOD
15	8	8	7	MGMOD
16	4	7	5	NGND
17	6	7	4	MGL
18	8	7	4	MGMOD
19	6	6	2	NG ND
20	8	7	4	MGL
21	3	8	3	NG ND
22	7	6	6	MGL
23	7	6	4	MGMOD
24	7	6	5	MGMOD
25	8	9	8	MGL
26	6	7	2	NG ND
27	2	8	5	MGMOD
28	7	7	7	MGM
29	7	7	6	MGMOD
30	8	7	7	MGMOD
31	7	10	4	NG ND
32	6	6	4	MGL
33	8	7	7	MGM
34	6	6	6	MGL
35	7	6	4	MGMOD
36	5	6	6	MGL

37	7	7	5	MGMOD
38	7	10	3	NGND
39	9	9	3	MD
40	8	7	4	NGND
41	6	6	4	MGMOD
42	7	7	7	MGL
43	6	8	6	MD
44	3	7	4	NGND
45	8	8	3	MGMOD
46	8	7	6	MGL
47	7	6	3	MGM
48	7	7	5	MGMOD
	326	342	231	
MEDIA ST O PROMEDIO	7	7	5	
		7.125	4.8125	
Desviacion St	1.73767188	1.26533151	1.579876779	

Cuadro 17. Sensorial semana 4.

Segundo sensorial				
CATADOR	APARIENCIA	TEXTURA	TEXTURA BUCAL	ACEPTABILIDAD
1	7	5	6	MGMOD
2	8	7	7	MGM
3	5	4	5	MGMOD
4	7	6	5	MGMOD
5	8	4	7	MGMOD
6	8	3	6	MGMOD
7	6	6	5	MGMOD
8	8	4	4	MGMOD
9	7	5	3	MGMOD
10	7	3	5	MGM
11	6	8	6	MGL
	7	5	5.363636364	
MEDIA ST O PROMEDIO	7	5	5.363636364	
Desv std	1	1.61245155	1.206045378	

Cuadro 18. Sensorial semana 8.

Tercer sensorial				
CATADOR	APARIENCIA	TEXTURA	TEXTURA BUCAL	ACEPTABILIDAD
1	8	8	5	MGMOD
2	8	7	6	MGM
3	7	4	5	MGMOD
4	7	6	3	MGMOD
5	8	3	8	MGMOD
6	7	1	6	MGMOD
7	7	6	6	MGL
8	8	4	4	MDM
9	8	5	4	MGMOD
10	8	1	5	MGM
11	7	7	6	MGMOD
PROMEDIO	7.54545455	4.72727273	5.272727273	
Desviación St	0.52223297	2.37027041	1.348399725	

Cuadro 19. Sensorial semana 16.

Cuarto sensorial				
CATADOR	APARIENCIA	TEXTURA	TEXTURA BUCAL	ACEPTABILIDAD
1	8	7	7	MGMOD
2	5	4	5	MGL
3	6	4	5	MGL
4	8	3	8	MGMOD
5	6	3	6	MGMOD
6	6	3	6	MGL
7	9	4	4	MGM
8	8	6	6	MGMOD
9	7	3	6	MDM
10	6	3	5	MGL
PROMEDIO	6.9	4	5.8	
Desviación St	1.28668394	1.41421356	1.135292424	

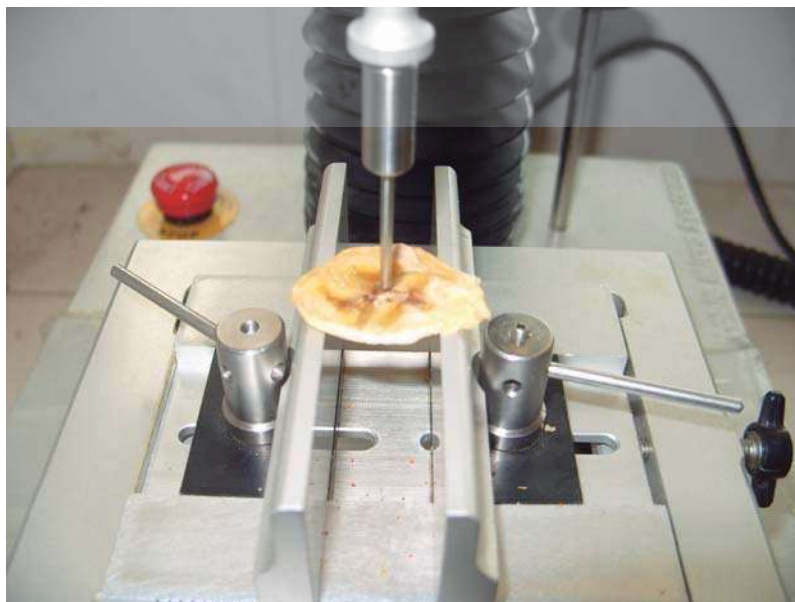


Figura 29. Determinación de textura.



Figura 30. Textura de plátano deshidratado.

Cuadro 20. Perfil de sabor Semana 0.

Catador	Aroma		Sabor			Resabio	
	Plátano	Caramelo	Plátano	Dulzura		Astringencia	Plátano
1	4	3	4	4	4	2	4
2	3	2	3	2	3	0	3
3	1	1	3	3	3	0	3
4	1	0	1	1	0	2	3
5	2	0	2	2	0	2	2
6	2	1	3	2	1	0	3
7	3	2	3	3	3	0	3
8	2	1	4	3	1	0	3
9	2	0	3	1	1	3	3
10	4	2	4	3	3	1	3
11	3	2	3	3	2	3	3
12	2	3	3	3	4	1	3
13	3	2	3	3	2	2	4
14	0	0	3	2	2	2	3
15	3	2	3	3	2	0	4
16	2	2	3	2	2	2	2
17	1	2	2	3	2	0	2
18	1	2	4	3	2	0	4
19	2	0	2	0	0	2	0
20	1	1	1	2	1	2	1
21	0	2	0	2	2	3	0
22	2	0	3	2	2	0	2
23	4	0	4	0	0	0	3
24	2	2	3	3	3	3	2
25	0	2	3	2	2	2	3
26	2	2	2	2	4	2	2
27	2	4	4	3	2	2	3
28	3	2	4	3	2	0	3
29	3	2	3	4	1	1	3
30	3	2	3	3	3	0	3
31	3	0	4	2	1	2	1
32	0	0	3	2	2	3	3
33	4	0	4	2	2	0	3
34	2	0	3	2	0	4	4
35	2	1	3	2	3	0	1
36	0	2	3	2	2	2	3
37	0	0	3	3	3	0	2
38	2	2	0	2	2	3	2
39	1	2	2	2	3	1	0
40	0	2	3	2	3	0	2
41	2	0	3	2	1	0	3
42	3	0	4	2	0	0	4
43	1	0	1	0	0	0	1
44	1	0	1	2	2	3	2
45	3	2	3	3	3	1	3
46	2	1	2	2	3	0	4
47	3	2	4	3	3	2	4

48	2	0	3	3	0	2	2
Promedio	1.96±1.17	1.25±1.06	2.81±1.02	2.29±0.87	1.92±1.16	1.25±1.21	2.58±1.07

Cuadro 21. Perfil de sabor semana 4.

Catador	Aroma		Sabor			Resabio	
	Plátano	Caramelo	Plátano	Dulzura	Caramelo	Astringencia	Plátano
1	3	2	4	3	3	2	3
2	2	1	3	3	2	2	3
3	3	3	4	3	3	4	4
4	2	1	3	3	1	0	2
5	3	2	3	2	1	1	3
6	3	3	3	3	3	3	3
7	0	2	2	2	2	2	3
8	3	0	4	3	2	2	3
9	1	2	3	2	2	2	2
10	2	0	3	2	0	2	3
11	2	2	4	3	2	3	2
Promedio	2.18±0.98	1.64±1.03	3.27±0.65	2.64±0.50	1.91±0.94	2.09±1.04	2.82±0.60

Cuadro 22. Perfil de sabor semana 8.

Catador	Aroma		Sabor			Resabio	
	Plátano	Caramelo	Plátano	Dulzura	Caramelo	Astringencia	Plátano
1	3	3	3	2	3	2	2
2	3	1	4	3	2	3	3
3	4	3	3	3	3	4	3
4	2	1	3	3	1	0	2
5	2	3	4	2	1	3	2
6	3	3	3	3	3	3	3
7	2	2	3	3	3	3	3
8	3	2	4	3	2	3	3
9	1	2	3	2	2	1	1
10	2	3	4	3	2	2	3
11	3	2	3	3	2	2	2
Promedio	2.55±0.82	2.27±0.79	3.36±0.50	2.73±0.47	2.18±0.75	2.36±1.12	2.45±0.69
DESV ST	0.82019953	0.78624539	0.50452498	0.46709937	0.75075719	1.120064933	0.68755165

Cuadro 23. Perfil de sabor semana16.

Catador	Aroma		Sabor			Resabio	
	Plátano	Caramelo	Plátano	Dulzura	Caramelo	Astringencia	Plátano
1	2	1	4	3	3	3	2
2	3	4	4	3	3	3	4
3	2	2	3	3	2	0	3
4	4	2	4	3	2	1	3
5	3	3	3	3	3	0	3
6	0	2	3	2	2	2	4
7	4	2	4	3	2	2	4
8	3	4	3	3	2	0	3
9	2	0	4	3	0	2	3
10	2	4	3	2	2	2	3
PROMEDIO	2.5	2.4	3.5	2.8	2.1	1.5	3.2
	3	2	4	3	2	2	3