



Marzo 2018 - ISSN: 1696-8352

“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN EN BANANA (*MUSA X PARADISIACA*) COMO TECNOLOGÍA DE TRANSFORMACIÓN ALIMENTARIA” (Evaluation of freeze-drying process in banana (*Musa x paradisiaca*) as food processing technology)

Paúl Roberto Pino Falconi,

Ingeniero de Industrias Pecuarias, MA Tecnología de alimentos, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador,
paulrobertoam@hotmail.com

Sonia Andrea Villamar Manrique,

Médico Veterinario y Zootecnista, MA Producción Animal

Edwin Fernando Basantes Basantes,

Doctor en Bioquímica y Farmacia, MA en toxicología Industrial y ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Ecuador

Telmo Marcelo Zambrano Núñez,

Ingeniero de Alimentos, MA Gestión de seguridad y calidad alimentaria, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Ecuador

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Paúl Roberto Pino Falconi, Sonia Andrea Villamar Manrique, Edwin Fernando Basantes Basantes y Telmo Marcelo Zambrano Núñez (2018): “Evaluación del proceso de liofilización en banana (*musa x paradisiaca*) como tecnología de transformación alimentaria.”, Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, (marzo 2018). En línea:
<http://www.eumed.net/2/rev/oel/2018/03/proceso-liofilizacion-banana.html>

Resumen

La selección de bananas se realizó por el estado de madurez, obteniendo bananas en estado comercial para realizar el seguimiento de maduración en tres etapas, M1 (estado verdoso, día 0 de almacenamiento), M2 (estado amarillento 1, día 5 de almacenamiento) y M3 (estado amarillento 2, día 10 de almacenamiento). La liofilización se realizó en los 3 estados de maduración que constituyeron los 3 tratamientos, replicados en 3 ensayos. Se realizaron análisis físicos (pesos y diámetros) a bananas frescas, análisis físicos (pesos, sólidos totales y color) entre las rodajas de bananas frescas y liofilizadas, análisis de composición nutricional (determinación de potasio, calcio y vitamina c) en rodajas de bananas frescas y liofilizadas, análisis físicos (pesos, pérdida de humedad y sólidos totales) y análisis sensorial (ensayo simple y descriptivo) en las rodajas de bananas liofilizadas.

Se utilizó un diseño aleatorizado, ANOVA con separación de medias, al 95%. El peso y diámetro en bananas frescas no se alteró en los días de almacenamiento. Los pesos entre las rodajas frescas y liofilizadas, si presentan diferencias estadísticas, los sólidos solubles no se ven modificados y en color en los 3 estados las rodajas liofilizadas son más claras, menos brillantes y tendientes a rojo, comparadas con la fruta fresca. Los resultados de la composición de potasio y sodio no se modifican, en el contenido de vitamina c si hay diferencias. Los pesos y pérdida de humedad entre las rodajas liofilizadas no presentan diferencias, los sólidos totales si indican diferencias. Las características organolépticas entre las rodajas liofilizadas no se afectaron, excepto el descriptor sabor, con mejor puntuación en el estado amarillento 1.

Palabras clave: Agroindustria, banana, liofilización, tecnología de alimentos.

Abstract

The selection of bananas was made by the state of maturity, obtaining bananas in commercial state to follow the maturation in three stages, M1 (greenish state, storage day 0), M2 (yellowish state 1, storage day 5) and M3 (yellowish state 2, storage day 10). The freeze-drying was performed in the 3 stages of maturation that constituted the 3 treatments, replicated in 3 trials. Physical analyzes (weights and diameters) were performed on fresh bananas, physical analyzes (weights, total solids and color) between slices of fresh and lyophilized bananas,

analysis of nutritional composition (determination of potassium, calcium and vitamin C) in slices of bananas fresh and lyophilized, physical analyzes (weights, moisture loss and total solids) and sensory analysis (simple and descriptive test) in the slices of lyophilized bananas.

A randomized design, ANOVA with separation of means, 95% was used. The weight and diameter in fresh bananas did not change on storage days. The weights between the fresh and lyophilized slices, they present statistical differences, the soluble solids are not modified and in color in the 3 states the lyophilized slices are clearer, less bright and tending to red, compared with fresh fruit. The results of the composition of potassium and sodium do not change, in the content of vitamin C are differences. The weights and loss of moisture between the lyophilized slices do not present differences, the total solids indicate differences. The organoleptic characteristics among the lyophilized slices were not affected, except for the flavor descriptor, with a better score in the yellowish state 1.

Key words: Agroindustry, banana, freeze-drying, food technology.

1. INTRODUCCIÓN

El banano se cultiva en todas las regiones tropicales y tiene una importancia fundamental para las economías de muchos países en desarrollo, es la fruta fresca más exportada del mundo en cuanto a volumen y valor. Ecuador es el mayor exportador de banano del mundo y su presencia en el comercio mundial va en aumento. (FAO, 2004).

El banano es un alimento altamente energético, cuyos hidratos de carbono son fácilmente asimilables; es pobre en proteínas y lípidos y no es suficiente como base de una alimentación completa (Champion, 1968).

El banano es un cultivo herbáceo-perene que se cosecha en casi todos los países tropicales y también en algunos países subtropicales. El tronco está formado por los tallos de las hojas. Las hojas nacen de un cormo, de este cormo crecen varios troncos. Cada tronco de una fruta y luego muere. Otros troncos de la unidad continúan la producción (Samson, 1981).

Tras su recolección, las frutas sufren numerosos cambios físico-químicos determinantes de su calidad al llegar al consumidor. Después de cosechados, los frutos climatéricos como el plátano pasan por cuatro estados de desarrollo fisiológico: preclimatérico, climatérico, maduración de consumo y senescencia; mostrándose como objetivo comercial, en el caso del plátano, la prolongación al máximo de este primer estadio (preclimatérico), ya que en esta etapa los frutos están verdes, con textura rígida y su actividad metabólica es baja.

Además, el período de maduración de los frutos varía inversa y significativamente con la edad de la cosecha, y el proceso de maduración de los frutos de corta edad se altera en sus cualidades organolépticas (Cayón et al., 2000).

El banano es la fruta tropical que se reporta con la mayor producción y con el mayor consumo en los mercados internacionales. Sin embargo, la actividad enzimática durante la maduración y senescencia produce el ablandamiento de los tejidos, que acelera la descomposición. Existen métodos que permiten mantener la calidad por periodos más largos, no obstante, algunos son costosos y otros pueden afectar seriamente la textura, color y sabor de la fruta (Giraldo et al., 2004).

Dentro de las técnicas más utilizadas para la conservación de frutas encontramos la refrigeración, el uso de atmósferas controladas, uso de absorbentes de etileno, aplicación de películas cubrientes y aplicación exógena de fitorreguladores (Parikh, 1990).

Una alternativa a los métodos clásicos de conservación es la liofilización. Este método se basa en la deshidratación bajo ultra vacío, de un material previamente congelado, mediante la sublimación del hielo. Se realiza manteniéndose los productos a una temperatura inferior a 0°C y bajo una presión inferior a 4,57 mmHg.

La liofilización de productos biológicos es el mejor método para la remoción del agua a fin de obtener productos de la más alta calidad comparada con otros tratamientos de deshidratación. La liofilización es un proceso por el cual el producto se congela primero y luego el hielo de la congelación es eliminado por sublimación, por lo general en condiciones de baja presión y temperatura. La sublimación deja lugar a una capa porosa seca que se retira continuamente durante el proceso. (Hanson, 1976).

Es un proceso de conservación mediante sublimación utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles o termo-sensibles. En este proceso de secado los productos obtenidos no se ven alterados en sus propiedades y se rehidratan fácilmente. (Cañizares, 2003).

La conservación de la pulpa de banano presenta algunas dificultades, debido a que toma color cobrizo rápidamente como consecuencia de la acción enzimática. Como alternativa al consumo en fresco existen procesos a los cuales puede someterse, y así de esta manera permitir que durante todo el año se disponga de frutas, siempre buscando mantener óptima la calidad nutricional y sensorial. La liofilización, es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos, la cual permite prolongar el tiempo de vida útil manteniendo significativamente las propiedades físicas y fisicoquímicas relacionadas con su calidad.

El objetivo general de la presente investigación es evaluar la liofilización de banana como método de procesamiento, identificando las características finales del producto. Y los objetivos específicos son efectuar la liofilización en bananas en distintos estados de madurez, establecer mediante análisis físicos y organolépticos las características del producto y analizar las ventajas y desventajas del proceso y la calidad del producto liofilizado comparándolo con el producto natural.

Dado que los estados de maduración de la banana tienen diferentes características físicas, químicas y organolépticas, es probable que haya diferencias en el resultado de la liofilización dependiendo del estado de maduración elegido para el estudio.

1.1. Generalidades

El banano es un cultivo herbáceo-perene que se cultiva en casi todos los países tropicales y también en algunos países subtropicales. El tronco está formado por los tallos de las hojas. Las hojas nacen de un corno. De este corno crecen varios troncos. Cada tronco de una fruta y luego muere. Otros troncos de la unidad continúan la producción (Samson, 1981).

El banano es una planta que se desarrolla mejor en condiciones óptimas en las regiones subtropicales que son húmedas y cálidas. El banano no se desarrolla en áreas donde la temperatura media es inferior a 15 °C y donde la lluvia anual es inferior a los 2000 mm. Las mejores condiciones para el banano se dan entre los 0 y 15 grados de latitud norte o sur (Soto, 1985).

El banano pertenece a la familia Musácea del orden Escitaminea. El género *Musa* el más importante de esta familia y comprende especies que producen fibras como *Musa* textiles o abacá, especies ornamentales como *Musa coccinea*, y comestibles originados de las especies *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*.

Los nombres científicos más comunes propuestos para los plátanos comestibles son: *Musa paradisíaca* L., para el plátano macho y *Musa sapientum* L., para el banano. Ambas especies incluyen un gran número de clones o cultivares a los cuales se les asignan nombres locales en diferentes regiones. (Sánchez, 1982).

La banana es una de las frutas más consumidas mundialmente. Si bien en los países productores el consumo por habitante es más alto, se registran numerosos países importadores con niveles de 5 a 12 kg. por hab/año entre los cuales se encuentra la Argentina.

1.2. Botánica Del Banano

La planta de banano es originaria del Extremo Oriente (India hasta Filipinas), cuyo ancestro de los cultivares actualmente difundidos en todas las zonas intertropicales húmedas, fue el banano silvestre de semillas. Se supone que todas las especies de banano ahora conocidas, proceden de una especie con semillas, oriunda del archipiélago malayo, de Filipinas y de otras regiones del Asia suroccidental. (De la Torre, 1989).

1.3. Morfología de la planta de banano

El platanero es un arbusto perenne de 2 a 8 m de altura. Tiene un rizoma o corno basal que produce raíces adventicias y un pseudotallo formado por los pecíolos superpuestos de las hojas.

1.3.1. Partes de la planta de banano

- Raíces. Las raíces adventicias son débiles y tiernas en un principio. Luego se vuelven amarillas y se endurecen a medida que van envejeciendo. Tienen de 5 a 8 mm de diámetro y 2 m y más de longitud. Las raíces primarias emiten gran cantidad de raicillas secundarias de aproximadamente 2 mm de diámetro que cumplen funciones de absorción.
- Pseudotallos. Se origina a partir del tallo que es un rizoma cónico, carnoso, en el cual se insertan las bases superpuestas de las hojas para formar el pseudotallo.
- Hojas. Miden 1.50 a 4 m de longitud y 0.90 m de ancho. La hoja está formada por una vaina envolvente que se contrae gradualmente hasta transformarse en un pecíolo, redondeado por debajo y acanalado por arriba. La lámina de la hoja se compone de dos mitades unidas a una vena central, de la cual salen venas secundarias casi paralelas.
- Inflorescencia. La inflorescencia emerge ocho meses después de plantado el hijuelo. Está formado por un pedúnculo central con nudos. En los primeros 5 a 10 nudos basales se producen flores femeninas y en los terminales, las flores masculinas, al principio encerradas por brácteas.
- Frutos. Se forman en gajos o manos, cada uno con unos 15 frutos. Un racimo puede tener de 5 a 15 gajos de frutos. Su tamaño aumenta gradualmente hasta alcanzar su madurez fisiológica en unos 80 días. (Sánchez, 1982).

1.4. Cosecha del banano

El llamado "grado de corta" es el punto fisiológico y comercial óptimo para el traslado a los mercados. En este momento la fruta es todavía verde. Los bananos deben tener una edad y grueso determinado, depende del destino final. El grueso se mide con un calibrador y para la edad se usa cintas coloreadas.

Generalmente la cosecha se inicia a los 11 a 12 meses dependiendo de las condiciones climáticas y del suelo.

El racimo deberá cortarse verde, en un estado cercano a la madurez fisiológica, de manera que se debe evitar que los frutos maduren durante el transporte, dadas las exigencias del mercado.

Cuando los cultivos han alcanzado su madurez fisiológica, es decir, cuando están verdes pero ya "sazonados", se cortan los racimos. La cosecha debe ser realizada por dos personas, a fin de no maltratar el racimo. Una persona hace un corte ligero del pseudotallo a una altura mayor que la mitad de su longitud. La planta se dobla

lentamente. La otra persona toma el racimo por la parte media del pedúnculo y lo sostiene sobre el hombro. Por último, la persona que cortó el tallo también corta el racimo. (Sánchez, 1982).

El banano es la fruta tropical que se reporta con la mayor producción y con el mayor consumo en los mercados internacionales. Sin embargo, la actividad enzimática durante la maduración y senescencia produce el ablandamiento de los tejidos, que acelera la descomposición. Existen métodos que permiten mantener la calidad por periodos más largos, no obstante algunos son costosos y otros pueden afectar seriamente la textura, color y sabor de la fruta (Giraldo et al., 2004).

La determinación del momento en que se realiza la cosecha es fundamental para cumplir con las exigencias de mercados nacionales e internacionales, ya que está condicionada por las normas que regulan la calidad de la fruta, el sistema de transporte y el mercado de destino; siendo así, cuando la fruta se exporta hacia un mercado europeo por barco, el corte de los racimos, respecto a la edad o „estado verde“, debe ser más temprano que si se trata de un embarque con destino a Centroamérica (Belalcázar, 1991). Además, la madurez para el consumo de los plátanos no es única, ya que ya que generalmente la población los utiliza en estado verde, aunque existen algunas preferencia para su consumo en estado maduro (Cayón et al., 2000).

La cosecha de cabezas de plátano normalmente se efectúa a lo largo de todo el año. Se produce descenso o también paro total de la producción sólo en lugares que sufren una fuerte caída de temperatura durante los meses de invierno. En estado verde los bananos acusan cantos bien marcados que con el tiempo y a medida que los frutos van madurando se van reduciendo hasta lograr finalmente una configuración casi redonda.

1.5. Postcosecha del banano

Tras su recolección, las frutas sufren numerosos cambios físico-químicos determinantes de su calidad al llegar al consumidor. Después de cosechados, los frutos climatéricos como el plátano pasan por cuatro estados de desarrollo fisiológico: preclimatérico, climatérico, maduración de consumo y senescencia; mostrándose como objetivo comercial, en el caso del plátano, la prolongación al máximo de este primer estadio (preclimatérico), ya que en esta etapa los frutos están verdes, con textura rígida y su actividad metabólica es baja.

Además, el período de maduración de los frutos varía inversa y significativamente con la edad de la cosecha, y el proceso de maduración de los frutos de corta edad se altera en sus cualidades organolépticas, mostrándose como un fruto “pasmado” (Cayón et al., 2000).

1.5.1. Etapas del manejo postcosecha

- **Manipulación**

Las frutas frescas se deben manejar con cuidado a lo largo del sistema de manejo de post-cosecha con el fin de minimizar los daños mecánicos. La humectación se debe realizar en tanques de flotación. (Barrett, et. al., 2005).

- **Lavado**

Para limpiar la fruta, se puede utilizar solo agua o con agentes de limpieza añadido y / o cloro (típicamente 100 a 150 ppm). El enjuague final debe hacerse con agua limpia. (Barrett, et. al., 2005).

- **Clasificación**

Se lleva a cabo por lo general para eliminar defectos de frutas. También puede ser necesario para ordenar la fruta en dos o más clases de madurez o de in madurez (según su color y firmeza). Existen clasificadores mecánicos, que operan en la base de color, sólidos solubles, la humedad o el contenido de grasa. (Barrett, et. al., 2005).

- **Tallas**

En algunos casos, el tamaño de los frutos pueden ser divididos en dos o más categorías de tamaño puede ser requerido antes de la transformación o empaquetado. (Barrett, et. al., 2005).

- **Maduración**

La maduración antes del procesamiento puede ser requerido por algunas frutas (por ejemplo, aguacate, plátano, kiwi, mango, nectarina, papaya, durazno, pera, caqui, ciruela y melón) que se recogió inmaduro. (Barrett, et. al., 2005).

El tratamiento con etileno se puede utilizar para obtener más rápido y maduración más uniforme. La temperatura óptima gama para la maduración es de 15 a 25 °C y dentro de este rango, la mayor es la temperatura, más rápido la maduración. La humedad relativa debe mantenerse entre 90 y 95% durante la maduración.

Aunque 10 ppm de etileno es suficiente para iniciar la maduración, una concentración de 20 a 100 ppm para los al menos 2 días se recomienda para su aplicación comercial.

La circulación de aire adecuada dentro de la habitación es importante para asegurar una distribución uniforme de etileno. Un método para lograr esto es forzando el aire de etileno que contiene a través de los contenedores de frutas (Maduración de aire forzado o la maduración de la presión).

También es importante para evitar la acumulación de carbono dióxido de (producido por la mercancía a través de la respiración) por encima de 1% en la sala de maduración desde dióxido de carbono contrarresta los efectos de etileno. Esto se puede lograr mediante el intercambio de aire periódica (Introducción de aire fresco en la sala de maduración) o mediante el uso de cal hidratada para absorber el dióxido de carbono. (Barrett, et al. 2005).

1.6. Producción mundial de banano y plátano

La producción mundial de bananos y plátanos aumenta progresivamente desde 34 millones de ton. en 1961 hasta 104 millones en 2007, ligada al aumento de la población.

Las dos terceras partes de ese volumen corresponden a bananos y un tercio a plátanos. EL principal productor de banana del mundo es India. Con 748,100 hectáreas y 26,996.600 toneladas producidas se consolida como el líder en la industria bananera mundial.

En cuanto a los países latinoamericanos productores de banano, aunque Brasil cuenta con 479,614 hectáreas de plantaciones (Hasta el 2011), es superada por Ecuador en productividad. Ecuador con la mitad del área plantada logro superar la productividad de Brasil. (7.637.320 toneladas de banano ecuatoriano fue producido en el 2011 mientras que Brasil produjo 6.783.460 toneladas.)

Guatemala, Costa Rica, México, Colombia y Honduras son las siguientes naciones en orden de importancia con mayor productividad en sus plantaciones bananeras. 2.544.240 toneladas, 2.365.470 ton, 2.365.470 ton, 2.020.390 ton y 690.625 ton respectivamente.

Cabe resaltar que aunque Guatemala no tiene gran extensión de tierras cultivadas (59.391 hectáreas) sobrepasa a naciones como México y Colombia las cuales cuentan con una mayor zona de producción. Son varias las razones por las cuales algunas naciones lograr mayor productividad en sus plantaciones que otras. Variables climatológicas, un buen control de plagas y enfermedades y lograr tener la menor cantidad de desperdicio de la fruta hacen la diferencia. (FAO, 2009).

Las producciones mundiales se agrupan en cuatro tipos genéticos: Cavendish (AAA), otros plátanos de cocinar o para hacer bebidas (AAB, ABB, AAA, etc.), plátano (AAB), y otros bananos de postre (Gross Michel, Manzanos, Dátiles, Oritos, etc.) AAA, AA, AAB). El grupo Cavendish sigue el más producido con más de 46 MT (44,7 %) especialmente en el continente asiático, le siguen los bananos de cocinar (26,5 MT, 25,4 %) concentrados en Asia y en África del Este, el plátano concentrado en África central y del Oeste y América latina, y los otros bananos postre (12,3 MT, 11,8 %) en Asia y América latina.

1.7. Conservación de alimentos

El procesamiento de alimentos sirve para una serie de propósitos. En primer lugar, es fundamental para la transformación de productos alimenticios perecederos en alimentos microbiológicamente estable y seguro. Si bien esto es claramente un requisito previo, alimentos procesados se venden, particularmente en el mundo desarrollado, sobre la base de sus características organolépticas (es decir, el gusto y el sabor) y sus características de valor nutricional. Los consumidores en el mundo desarrollado cada vez más prefieren menos alimentos procesados. Como consecuencia, es un tremendo impulso para la industria alimentaria la investigación de nuevos sistemas de conservación, basados en una combinación de tratamientos físicos con la acción de un preservar sus compuestos naturales.

Siempre han sido y todavía hay muchas razones por las que los alimentos necesitan ser preservados bien. Las técnicas de conservación para el uso práctico son, por desgracia relativamente limitadas. (Lado y Yousef, 2002).

1.8. Liofilización

En su forma más simple, la liofilización se define como un proceso de estabilización, en la que primero se congela el disolvente y luego la cantidad se reduce por primera sublimación (secado primario). Posterior, por desorción (secado secundario) se llega a los valores en los que se reducirá el crecimiento biológico o las reacciones químicas. Aunque esta definición ha ido cambiando y se han ido describiendo con mayor detalle los procesos, el término clave es que la liofilización es un proceso de estabilización. (Jennings, 2008).

La liofilización es un proceso por el cual el producto se congela primero y luego el hielo de la congelación el eliminado por sublimación, por lo general en condiciones de baja presión y temperatura. La sublimación deja lugar a una capa porosa seca que se retira continuamente durante el proceso. (Hanson, 1976). Es un proceso de conservación mediante sublimación utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles o termo-sensibles. Es el más noble proceso de conservación de productos biológicos conocido, ya que junta a los dos métodos más fiables de conservación, la congelación y la deshidratación. Sin conservantes o productos químicos, es el proceso más adecuado para preservar células, enzimas, vacunas, virus, levaduras, sueros, derivados sanguíneos, algas, así como frutas, vegetales, carnes, peces y alimentos en general. En este proceso de secado los productos obtenidos no se ven alterados en sus propiedades y se rehidratan fácilmente. (J. de Alvarado 1979; Krokida, 1998; Cañizares, 2003).

La acuñación del término liofilización se atribuye generalmente a la naturaleza porosa y seca del producto, su característica "liofilizado" tiende a reabsorber rápidamente el disolvente y restaurar la sustancia a su estado original. Se suele utilizar el término liofilización o secado por congelación, el último término se ha convertido en más común porque es aplicable a ambos sistemas acuosos y no acuosos. Es interesante que los procesos de liofilización a menudo se realicen en el equipo de secado por congelación, aunque el término descriptivo liofilizador es cada vez más frecuente. (Rey, 1975).

1.8.1. Proceso de liofilización

El proceso cuenta de tres etapas, la congelación y la etapa de secado.

La primera etapa es el proceso de congelación de la muestra aproximadamente a -40°C para facilitar el proceso de sublimación. La temperatura y tiempo de congelación se da en función de los solutos en solución que contiene, al final de la congelación la masa se ha convertido en rígida, formando un eutéctico (cristales de hielo y componentes del alimento). La segunda etapa es el secado primario conocido como sublimación del hielo bajo vacío. El hielo sublima cuando se suministra la energía correspondiente al calor latente debido a la baja presión en la cámara de secado, el vapor de agua que se genera por la sublimación es liberado por los poros del producto. El secado secundario o eliminación de agua, se da cuando los cristales de hielo se agotan, esta etapa de eliminación de agua se da cuando el producto empieza a liberar humedad, la cual proviene del agua parcialmente ligada en el material (Barbosa y Vega 2000).

1.8.2. Descripción de las etapas del proceso

1.8.2.1. Formulación

La formulación se define como cualquier sistema que contiene un disolvente que, después de su eliminación, mejorará la estabilidad del producto, pueden citarse como ejemplo las flores y los alimentos. Las formulaciones liofilizadas también tienen aplicaciones biológicas, biotecnológicas, de diagnóstico (in vivo e in vitro), farmacéuticas, y en productos veterinarios. (Hanson, 1976).

1.8.2.2. Congelación

Con el fin de liofilizar una formulación con éxito, es necesario congelar la sustancia antes del inicio del proceso de secado. Muchos investigadores en sus estudios indican que el producto primero fue congelado a una temperatura dada. (Shackell, 1909).

La función principal del proceso de congelación es la de separar el disolvente de la solutos. En un sistema acuoso, el agua forma cristales de hielo, y los solutos serán confinados a la región intersticial entre los cristales de hielo. La temperatura necesaria para lograr la congelación completa de la formulación dependerá de la naturaleza de los disolventes y otros constituyentes que comprenden la formulación. La congelación se puede realizar en una unidad de congelación externo o en los estantes del liofilizador. El proceso de congelación es un paso importante en el proceso de liofilización. (Jennings, 2008).

Orrego, A. (2004), indica que cada producto debe congelarse de una manera tal que garantice que sufrirá pocas alteraciones en el proceso posterior de sublimación. Se debe conocer con precisión:

- La temperatura en la que ocurre la máxima solidificación
- La velocidad óptima de enfriamiento
- La temperatura mínima de fusión incipiente

Se busca que el producto ya congelado tenga una estructura sólida sin intersticios en los que haya líquido concentrado para propiciar que todo el secado ocurra por sublimación.

En los alimentos se pueden obtener distintas mezclas de estructuras luego de la congelación que incluyen cristales de hielo, eutécticos, mezclas de eutécticos y zonas vítreas amorfas. Estas últimas son propiciadas por la presencia de azúcares, alcoholes, cetonas, aldehídos y ácidos, así mismo como por las altas concentraciones de sólidos en el producto inicial. (Orrego, 2004).

La congelación consiste en la aplicación de temperaturas a los alimentos por debajo de cero grados centígrados, de forma que parte del agua del alimento se convierte en hielo. Al mismo tiempo, como el agua se solidifica, se produce una desecación del alimento, lo que contribuirá de forma significativa a una mejor conservación. Lógicamente, este efecto será más importante cuanto más baja sea la temperatura. La temperatura de elección a nivel internacional es de $-18^{\circ}\text{C}/0^{\circ}\text{F}$, ya que por debajo de ésta se estima que no es posible la proliferación de bacterias (significativamente), por lo que disminuye la posibilidad de alteración y se reducen los riesgos para la salud.

No toda el agua presente en el alimento puede separarse en forma de cristales como consecuencia de la congelación. En el alimento existe una fracción del agua no congelable a la que corresponde una actividad de agua muy baja (de hasta 0,3). Esta agua, la cual se encuentra fuertemente unida a las estructuras moleculares, es denominada agua ligada y representa entre el 5 y el 10% de la masa total de agua contenida en el alimento. (Umaña, 2004).

- Curva de congelación

El proceso de congelación en los alimentos es más complejo que la congelación del agua pura. Los alimentos al contener otros solutos disueltos además de agua, presentan un comportamiento ante la congelación similar al de las soluciones. La evolución de la temperatura con el tiempo durante el proceso de congelación es denominada curva de congelación. El almacenamiento en frío no es un bactericida. Las bajas temperaturas disminuyen la tasa de crecimiento bacteriano, pero no las matan por completo. Es por esta razón, que los alimentos que se almacenen en bajas temperaturas deben ser de buena calidad. (Potter, 1998).

1.8.2.3. Secado primario

Una vez que la formulación ha alcanzado un estado completamente congelado, la presión en el liofilizador se reduce, y se aplica calor para iniciar la sublimación de los cristales de hielo. La finalización del proceso de secado primario se produce cuando todos los cristales de hielo que se han quitado de la formulación y el volumen ocupado por la torta resultante es equivalente a la de la matriz congelada. (Jennings, 2008)

El proceso de secado como tal puede ocurrir o no a bajas presiones pero en tales condiciones es mucho más eficiente el proceso difusivo. El paso de hielo a vapor requiere gran cantidad de energía que suministrada en alto vacío pues la interfase de secado se mueve hacia el interior de la muestra y el calor tiene que atravesar capas congeladas (sistemas liofilizados en bandeja, sin granular) o secas (en granulados), generándose un considerable riesgo de fusión del material intersticial o quemar la superficie del producto que ya está seco. (Orrego, 2003).

Sublimación es la condensación directa de vapor a sólido. Un proceso de sublimación significa un procedimiento mediante el cual una sustancia sufre una transición de éstas o una combinación de ellas. El proceso de sublimación es mucho más eficiente a presiones mínimas debido a que el agua se extrae por un impulso originado por el gradiente de presión total (Alvarado, 1996; Perry, 1997).

1.8.2.4. Secado secundario

La humedad remanente en el producto después del proceso de secado primario se absorbe por el material o se adsorbe por la superficie del mismo (Jennings, 2008).

En la realización de secado primario, todavía habrá un poco de agua adsorbida sobre la superficie de la torta. Esta humedad puede constituir, en función de la temperatura y la naturaleza de los constituyentes que comprenden la torta, 5-10% de peso del producto seco.

En muchos casos, hay valores de humedad muy altos, y el producto puede no tener la estabilidad final deseada. Dicha estabilidad deseada, se obtiene reduciendo el contenido de humedad en el producto por desorción. El final de la desorción del resto de agua se logra eliminar generalmente mediante el aumento de la temperatura del producto y con la reducción de la presión parcial de vapor de agua. La finalización del secado secundario, es en general el paso final en el proceso de liofilización. (Jennings, 2008).

1.8.3. Ventajas y desventajas del proceso

Las principales ventajas de este método de secado están relacionadas con la alta calidad del producto final en comparación con otros métodos de secado. Estas ventajas se pueden resumir de la siguiente manera (Okos, 2002).

- alta retención de sabor y aroma;
- una alta retención de valor nutricional;
- contracción mínima;
- un cambio mínimo en la forma, el color, y la apariencia;
- prácticamente no hay daños en la estructura y la textura;
- estructura final porosa, y
- fácilmente rehidratable. Como se ha señalado por, (Salunkhe et al. 1991).

La baja temperatura de este proceso conduce a una disminución de la cinética de todos los procesos de degradación (Pardeamiento no enzimático, deterioro de la proteína, y la reacción enzimática, etc.).

Fellows, (2000), indica las características del procesamiento de liofilización, así:

- recomendado para la mayoría de los alimentos, pero se ha limitado a aquellos que son difícil de secar a través de otros métodos
- temperaturas debajo del punto de congelación
- presiones reducidas (27-133 Pa)
- se sublima el agua del frente de congelación
- movimiento mínimo de solutos
- cambios estructurales o encogimiento mínimos
- rehidratación completo o rápido
- partículas porosas secas tienen una densidad más baja que el alimento original
- color normal

- nutrientes retenidos en gran porcentaje

La aplicación industrial de la liofilización a una amplia gama de frutas ha sido limitada por su principal inconveniente: el elevado capital y costos de operación. Además, el producto final tiene que ser correctamente embalado en materiales especiales para evitar la oxidación y absorción de humedad (Jayaraman, 1992), lo que también aumenta el costo del producto final.

1.8.4. Equipo de liofilización

Entre los liofilizadores industriales, los más comunes son la bandeja y tipo de túnel. En general, son sólo del tipo por lotes. Esta técnica de secado ha sido aplicada con éxito en las frambuesas, fresas, melocotones, cerezas, y los higos (Somogyi, 1986), pero la aplicación comercial ha sido limitada a frutas exóticas y zumos de naranja (Jayaraman, 1992).

Se ha demostrado que este proceso es viable debido a la mayor calidad de producción de frutas en polvo para el consumo al por menor (Holdsworth, 1986).

En general el equipo de liofilización está constituido de las siguientes partes:

- La Cámara de liofilización
- La cámara de liofilización tiene dos funciones principales: (1) proporcionar un ambiente seguro para el producto durante todo el proceso de liofilización y (2) proporcionar la temperatura y presiones necesarias para llevar a cabo cada paso de la liofilización proceso.
- La cámara de secado por congelación
- Es generalmente un recipiente de metal, construido a partir de acero inoxidable.
- La cámara de secado
- Contiene estantes y una plataforma utilizable. Las bandejas que contiene el producto, ya sea a granel o en envases de vidrio, se cargan a los estantes.
- La cámara de condensación
- La función principal de la cámara de condensación es para alojar a las superficies del condensador para la eliminación de vapor de agua que pasa de la cámara de secado. Para ser eficaces, las temperaturas de operación deben tener un mínimo de 20 °C más baja que la temperatura del producto durante el proceso de secado primario. A diferencia de los estantes de la secadora que se enfrían mediante un fluido de transferencia de calor, las superficies de condensador son generalmente refrigerados por contacto directo de un refrigerante.
- El sistema de bombeo de vacío
- El sistema de bombeo de vacío, en conjunto con el sistema condensador, proporciona las presiones necesarias para la realización de los procesos de secado primario y secundario. Bombas de vacío mecánicas típicas utilizadas en liofilizadores son lubricados con aceite. (Jennings, 2008).

2.- SECCIÓN EXPERIMENTAL

A. LOCALIZACIÓN

Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Bioquímica y en la cátedra de Fruticultura, pertenecientes a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.

B. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos estuvieron constituidos por los distintos estados de maduración, utilizándose en este caso 3 tratamientos replicados en 3 ensayos. Obteniendo de esta forma 3 muestras por cada ensayo.

C. ORIGEN, VARIEDAD Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Fueron utilizadas bananas (musa x paradisíaca), de origen ecuatoriano, obtenidas en el Mercado Central de la ciudad de Buenos Aires, Argentina.

La selección de bananas se realizó en base al estado de madurez, procurando obtener bananas en estado verde para realizar el seguimiento de maduración y la liofilización en sus distintas etapas. Se adquirieron bananas en estado comercial, y se identificaron a partir de este 3 estados de maduración, así: M1 (estado verdoso, 0 días de almacenamiento), M2 (estado amarillento 1, 5 días de almacenamiento), M3 (estado amarillento 2, 10 días de almacenamiento). Fue importante escoger bananas sin defectos físicos como golpes o con deterioro microbiológico.

Figura 1. Bananas para ensayos.



D. EQUIPOS Y MATERIALES

Equipos

- Liofilizador TERMOVAC
- Congelador Ultra freezer NEW BRUNSWICK SCIENTIFIC, mod. U570-86
- Cámara de enfriamiento ALASKA, mod. CR-20P-E1P
- Homogenizador omni mixer
- Colorímetro Konica Minolta CR 400
- Refractómetro Atago Pal-1

Materiales

- Vaso de precipitación
- Pipetas
- Balanza
- Cuchillo cerámico
- Recipientes plásticos

2.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En este estudio se utilizó un diseño completamente aleatorizado, para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con una separación de medias (TUKEY) con un nivel de significancia ($P < 0.05$), para las características físicas y también para el análisis sensorial.

El análisis de varianza se aplicó a un diseño completamente al azar cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} = Efecto de la j-esima observación del i-esimo tratamiento. Variable de respuesta u observación dependiente. μ = Media poblacional, efecto medio verdadero t_i = efecto de la i-esima tratamiento ϵ_{ij} = efecto de la e-sima unidad experimental sujeta al i-esimo tratamiento.

Se utilizó la prueba de significancia de Tukey al 0.05%

2.1.1.- Análisis físicos (peso y diámetro) de las bananas frescas en sus estados de madurez

- Peso:* Se tomaron los pesos individuales de 15 bananas frescas en 3 momentos (0 días de almacenamiento, 5 días de almacenamiento y 10 días de almacenamiento), de esta manera se determinó la variación de peso de acuerdo a los promedios.
- Diámetro:* Fueron realizadas tres mediciones de diámetro en 15 bananas frescas en distintos momentos (0 días de almacenamiento, 5 días de almacenamiento y 10 días de almacenamiento) para determinar la variación en su diámetro de acuerdo a los promedios.

2.1.2.- Análisis físicos (pesos, sólidos totales y color) entre las rodajas de bananas frescas y bananas liofilizadas de acuerdo a cada uno de los estados de maduración

- Peso:** Se tomaron 30 rodajas de bananas frescas y 30 de rodajas liofilizadas, se realizaron tres mediciones de peso dependiendo de cada estado de maduración para determinar la variación de peso.
- Sólidos totales:** Se tomaron 10 rodajas de bananas frescas y 10 de rodajas liofilizadas en los distintos estados de maduración y se hicieron varias diluciones con distintos niveles de agua destilada (30 ml, 20 ml, 10ml) para determinar el contenido de sólidos totales mediante una curva de calibración. Se homogenizaron las muestras durante 2 minutos en el equipo omni mixer, y finalmente se colocaron 2 gotas de la solución en el refractómetro digital. Los resultados se expresaron en °Brix.

Figura 2. Refractómetro y Onmimixer2.



- Color:** Se tomó el color de la directamente a las rodajas de banana fresca y rodajas de banana liofilizadas, utilizando un colorímetro (Konica Minolta CR 400) en el cual se identificaron los parámetros; Luminosidad (L*), Croma (C*) y Matiz (H).

2.1.3.- Análisis nutricional entre las rodajas de bananas frescas y bananas liofilizadas de acuerdo a cada uno de los estados de maduración

Para la evaluación nutricional de bananas frescas y liofilizadas, se identificó el contenido de potasio (mg.), calcio (mg.) y vitamina c (mg.). Se tomaron muestras de rodajas frescas y liofilizadas, provenientes de un mismo lote para así obtener productos con similares características nutricionales. Se compararon estadísticamente todos los resultados de bananas frescas y liofilizadas, de un mismo estado de almacenamiento en sus 3 repeticiones, para identificar si existen diferencias significativas.

Los resultados de laboratorio de cada muestra fueron expresados en mg/100 g. de muestra, y debido a que, la cantidad de nutrientes en 100 g. de banana fresca no es la misma cantidad que en banana liofilizada, se realizó una corrección de los resultados en base al promedio final de eliminación de agua en el proceso de liofilización que fue de 71,3%. De esta forma, logramos homologar los componentes nutricionales con respecto al peso de las bananas frescas y liofilizadas.

- Composición nutricional (Potasio):** tratamiento previo según método AOAC 968.08 y posterior cuantificación por EMISIÓN DE LLAMA en espectrofotómetro Perkin Elmer AA400.
- Composición nutricional (Calcio):** Tratamiento previo según método AOAC 968.08 y posterior cuantificación por ABRSORCIÓN ATÓMICA en espectrofotómetro Perkin Elmer AA400.
- Composición nutricional (Vitamina C):** Determinado por HPLC. Extracción con ácido metafosfórico 0.85% cuantificación: HPLC, columna: C18-fase reversa de 30 cm de longitud. Fase móvil: metanol: Acetato de sodio 80mM pH = 4,6. Proporción: 15:85. Detección: UV:VIS Flujo: 0,9 ml/MIN. Inyección: 50 µl.

2.1.4.- Análisis físicos (pesos, pérdida de humedad y sólidos totales) entre las rodajas de bananas liofilizadas de acuerdo a su estado de maduración

- Se realizó la identificación de diferencias estadísticas significativas, entre los promedios de los pesos de las rodajas de bananas liofilizadas de los 3 estados de maduración, para lo cual se tomaron 8 rodajas liofilizadas de cada estado de almacenamiento, se midieron sus pesos y se realizó la comparación entre ellos.
- Se realizó la identificación de diferencias estadísticas significativas, entre los promedios de porcentajes de humedad perdida de las rodajas liofilizadas en cada estado de almacenamiento, para lo cual se tomaron 8 rodajas liofilizadas en cada estado de almacenamiento.
- Se tomaron 8 de rodajas liofilizadas de los distintos estados de maduración y se hizo el análisis de sólidos totales. Se realizaron varias diluciones con distintos niveles de agua destilada (30 ml, 20 ml, 10ml), y mediante una curva de calibración se obtuvieron los valores. Se homogenizaron las muestras durante 2

minutos en el equipo omni mixer, y finalmente se colocaron 2 gotas de la solución en el refractómetro digital. Los resultados se expresaron en °Brix.

2.1.5.- Análisis sensorial de las rodajas de banana liofilizadas de acuerdo a su estado de maduración

- a. *Análisis Sensorial descriptivo*: en el cual se evaluaron los alimentos liofilizados con métodos de identificación de intensidad de atributos (color, aspecto, aroma, sabor) con utilización de escalas. Las muestras fueron presentadas a 17 panelistas (14 mujeres y 3 hombres), con edades comprendidas entre 30 – 45 años, en recipientes respectivamente codificados. Los ensayos fueron realizados siguiendo las directivas generales de la Norma: IRAM 20002 (ISO 6658:2005).
- b. *Análisis Sensorial simple (Cuestionario de Pecanes)*: para determinar el grado de aceptación. Con escala que va desde la opción “me gusta muchísimo” hasta “me disgusta muchísimo”. Las muestras fueron presentadas a 17 panelistas (14 mujeres y 3 hombres), con edades comprendidas entre 30 – 45 años, en recipientes respectivamente codificados.

Figura 3. Panel de evaluación sensorial.



2.1.6.- Procedimiento experimental del proceso de liofilización

- 1) *Corte en rodajas*: Se eligieron 5 frutos al azar del lote en su respectivo estado de madurez, estos fueron cortados en rodajas de aproximadamente 4 mm. El peso de las rodajas fue tomado previo y posterior al proceso de liofilizado, para así conocer la cantidad de humedad perdida en el proceso.

Figura 4. Rodajas frescas de banana (4 mm. Aproximadamente)



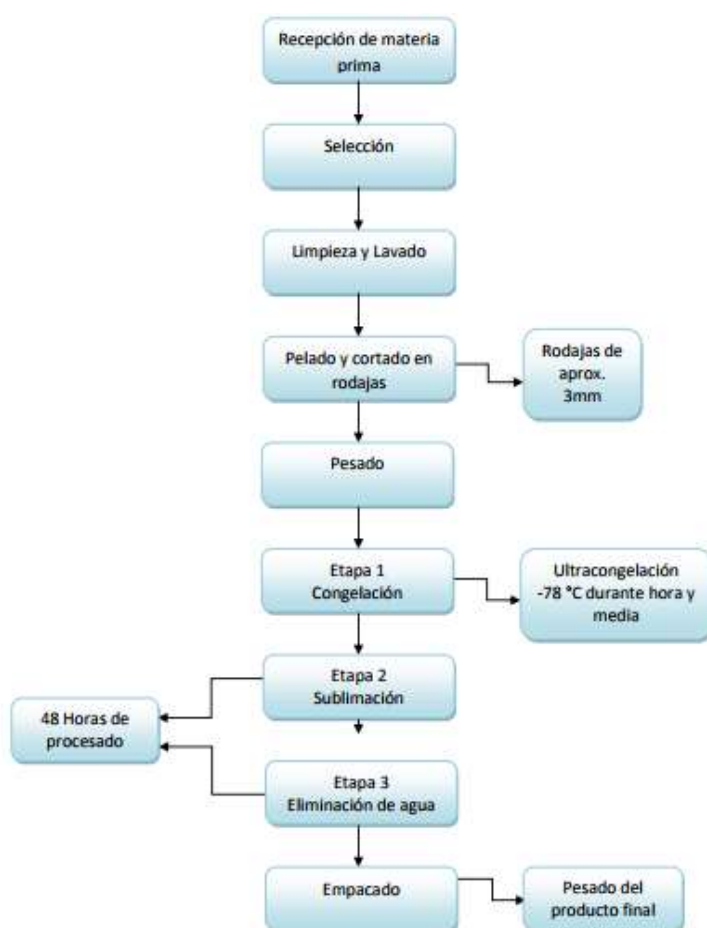
- 2) *Congelado*: Se evaluaron dos temperaturas de congelación previas al liofilizado. La primera de -16 °C en un congelador común (casero) y la segunda a una temperatura de -78 °C en ultra freezer, con el fin de obtener una mayor eficiencia del liofilizador y evitar la oxidación de la banana que da mal aspecto al producto final. De esta forma se redujo el tiempo de trabajo del equipo para extraer el contenido de agua. La temperatura de -78 °C (durante 1 hora), nos permitió mejores resultados y es la temperatura con la que se trabajó en el experimento ya que produce una congelación rápida, sin la formación de grandes cristales de hielo en la estructura del producto y sin ennegrecimiento de las rodajas por oxidación, que si se observaron con la temperatura de - 16 °C

Figura 5. Ultra freezer.



- 3) *Liofilización*: Las rodajas congeladas fueron sometidas al método de liofilización. Se utilizó un equipo Thermovac, que emplea parámetros de -40°C y un nivel de vacío de 130 micrones de hg. El proceso tuvo una duración de 48 horas.

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de liofilización de bananas



3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.- Análisis físicos (peso y diámetro) de las bananas frescas en sus estados de madurez

a. Pesos de las bananas frescas vs. estado de madurez

Se realizó la medición del peso de bananas frescas en distintos días de almacenamiento, a una temperatura de 15 °C que es la temperatura óptima para la maduración y consumo (Kader, 2001). Fueron evaluados los pesos individuales de 15 bananas frescas al día 0, al día 5 y al día 10. El promedio del peso de cada una de las 15 bananas frescas al día 0 fue 187,23 g, con una desviación estándar de +/-21.20 g; el peso promedio al día 5 fue 182.50 g, con una desviación estándar de +/-22.58; y al día 10 de almacenamiento el peso promedio fue 171.13 g, con una desviación estándar de +/- 19.99.

Se encontró diferencia estadística (p valor < 0.001) entre los pesos de estas tres mediciones, lo que indica que, a medida que pasa el tiempo de almacenamiento, el peso de las bananas disminuye, ya que la pérdida de peso está estrechamente relacionada con la pérdida de agua, lo cual ocurre principalmente a través de los estomas. (Landrigan, et al., 1996; Kaewchana et al., 2006).

b. Diámetro de la banana fresca vs. estado de madurez

Se realizó la medición del diámetro de banana fresca en distintos días de almacenamiento a 15 °C, para observar si existe merma durante el transcurso del tiempo. Fueron evaluados los diámetros de 15 bananas frescas al día 0, al día 5 y al día 10. El promedio del diámetro al día 0 fue 12.77 cm, con una desviación estándar de +/- 0.45 g; el diámetro promedio al día 5 fue 12.51 cm, con una desviación estándar de +/-0.49; y al día 10 de almacenamiento el promedio del diámetro fue 12.11 cm, con una desviación estándar de +/- 0.51.4g.

Se encontró diferencia estadística (p valor < 0.0001) entre el diámetro de estas tres mediciones, lo que sugiere que, a medida que pasa el tiempo, el diámetro de las muestras disminuye, ya que durante la senescencia ocurren cambios como deshidratación del pericarpio, pérdida de color (oscurecimiento), incremento en la acidez titulable y sólidos totales (Paul, 1987; Kader, 2001).

Tabla 1. Diferencias físicas de bananas almacenadas en sus diferentes estadios de maduración

	M1	M2	M3
Peso (g)	187,23 ^a	182,50 ^b	171,13 ^c
Diámetro (cm)	12,77 ^a	12,51 ^b	12,11 ^c

T1: 0 días de maduración, T2: 5 días de maduración, T3: 10 días de maduración. Subíndices distintos indica presencia de diferencia estadística significativa

3.2.- Análisis físicos (pesos, sólidos totales y color) entre las rodajas de bananas frescas y bananas liofilizadas de acuerdo a cada uno de los estados de maduración

a. Rodajas en estado fresco vs rodajas en estado liofilizado (Estado de maduración 1)

Se observó diferencia estadística significativa (p valor de 0.0001) entre el peso de las rodajas en estado fresco comparado con el peso de las rodajas liofilizadas, dando como resultado un promedio de peso en el estado fresco de 83.72 g. y en estado liofilizado de 23.35 g., esto nos indica que hubo un porcentaje de reducción de 72.11%, que corresponde a la pérdida de agua durante el procesamiento.

Los resultados de sólidos totales entre las rodajas frescas y rodajas liofilizadas, dieron como resultado un p valor de 0,6750, lo que indica la ausencia de diferencia estadística significativa, en el estado fresco los promedios fueron de 12.4 °Brix y en estado liofilizado de 12.0 °Brix, esto nos indica que hubo un porcentaje de reducción de 3.2% en los sólidos totales, que se relaciona con la pérdida de humedad durante el procesamiento (Mascheroni, 2002).

En cuanto al color se obtuvo una diferencia de promedios para Luminosidad (L^*) 15.17, lo que indica que la luminosidad tiende mayormente a claro en el producto liofilizado; para croma (C^*) - 25.63, indica que en saturación del color la banana liofilizada es menos brillante, y el Matiz (H) -7.89, que indica que en su matiz la banana liofilizada tiende a roja.

b. Estado fresco vs Liofilizado (Estado de maduración 2)

Se observó diferencia estadística significativa (p valor de 0.0001) entre el peso de las rodajas en estado fresco comparado con el peso de las rodajas liofilizadas, dando como resultado un promedio de peso en el estado fresco

de 90.44 g. y en estado liofilizado de 27.58 g., esto nos indica que hubo un porcentaje de reducción de 67.29%, que corresponde a la pérdida de agua durante el procesamiento.

Los resultados de sólidos totales entre las rodajas frescas y rodajas liofilizadas, dieron como resultado un *p* valor de 0,8449, lo que indica la ausencia de diferencia estadística significativa, en el estado fresco los promedios fueron de 16.33 °Brix y en estado liofilizado de 15.13 °Brix, esto nos indica que hubo un porcentaje de reducción de 1.22%, que se relaciona con la pérdida de humedad durante el procesamiento.

En cuanto al color se obtuvo diferencia de promedios para Luminosidad (L^*) 7.22, lo que indica que la luminosidad tiende mayormente a claro en el producto liofilizado; para croma (C^*) - 13.17, indica que en saturación del color la banana liofilizada es menos brillante, y el Matiz (H) -0.63 que indica que en su matiz la banana liofilizada tiende a roja.

c. Estado fresco vs Liofilizado (Estado de maduración 3)

Se observó diferencia estadística significativa (*p* valor de 0.0001) entre el peso de las rodajas en estado fresco comparado con el peso de las rodajas liofilizadas, dando como resultado un promedio de peso en el estado fresco de 86.82 g. y en estado liofilizado de 22.21 g., esto nos indica que hubo un porcentaje de reducción de 74.42%, que corresponde a la pérdida de agua durante el procesamiento. Este porcentaje de reducción de humedad es mayor a los anteriores estados de maduración, ya que, durante la maduración el contenido de agua de la pulpa aumenta debido a la cáscara pierde agua liberándola tanto a la atmósfera como a la pulpa (Orrego, 2004), y la disponibilidad de agua para el proceso de liofilización es mayor.

El porcentaje general de pérdida de peso de los 3 estados de maduración es de 71,3%, lo que indica la eficiencia del equipo de liofilización

Los resultados de sólidos totales entre las rodajas frescas y rodajas liofilizadas, dieron como resultado un *p* valor de 0,4736, lo que indica la ausencia de diferencia estadística significativa, en el estado fresco los promedios fueron de 19.66 °Brix y en estado liofilizado de 19.13, esto nos indica que hubo un porcentaje de reducción de 2.7%, que se relaciona con la pérdida de humedad durante el procesamiento.

El cuanto al color se obtuvo diferencia de promedios para Luminosidad (L^*) 8.13, lo que indica que la luminosidad tiende mayormente a claro en el producto liofilizado; para croma (C^*) - 11.22, indica que en saturación del color la banana liofilizada es menos brillante, y el Matiz (H) -0.15 que indica que en su matiz la banana liofilizada tiende a roja.

Tabla 2. Resultados de los pesos de las bananas frescas y liofilizadas en los tres estados de maduración

	M1	M2	M3
Pesos bananas frescas (g)	83,72 ^a	90,94 ^a	86,92 ^a
Peso bananas liofilizadas (g)	23,35 ^b	27,58 ^b	22,21 ^b

Subíndices iguales indica ausencia de diferencia estadística significativa

Tabla 3: Resultados del color de las bananas frescas y liofilizadas en los tres estados de maduración

	M1	M2	M3
L	15,71	7,22	8,13
Δ de color C	-25,63	-13,17	-11,22
H	86,28	-0,63	-0,15

3.3.- Análisis nutricional entre las rodajas de bananas frescas y bananas liofilizadas de acuerdo a cada uno de los estados de maduración

a. Potasio (mg.).

Los resultados nutricionales del contenido de potasio en rodajas de bananas frescas comparados con los resultados obtenidos en las rodajas de bananas liofilizadas obtenidos en las 3 réplicas, NO presentan diferencias estadísticas significativas (al 5%), encontrando un *p* valor de 0,9919, 0,5379 y 0,4397 en los 0, 5 y 10 días de almacenamiento analizados respectivamente.

b. Calcio (mg).

Los resultados nutricionales del contenido de Calcio en rodajas de bananas frescas comparados con los resultados obtenidos en las rodajas de bananas liofilizadas obtenidos en las 3 réplicas, NO presentan diferencias estadísticas significativas (al 5%) encontrando un *p* valor de 0,6388, 0,6969 y 0,3648 en los 0, 5 y 10 días de almacenamiento analizados respectivamente. La composición de Potasio y Calcio de la banana fresca en comparación de la liofilizada, no se vería modificada puesto que, este proceso no altera la estructura físico-química del material (Alvarado, 1996).

c. Vitamina C (mg.).

Los resultados nutricionales del contenido de Vitamina C en bananas frescas obtenidos en las 3 réplicas y comparados con los resultados en las 3 réplicas en bananas liofilizadas, SI presentan diferencias estadísticas

significativas (al 5%) encontrando un *p* valor de 0,0001, en los 0, 5 y 10 días de almacenamiento analizados. Se observó al día 0 de almacenamiento en las 3 repeticiones una disminución de vitamina c de 73%, al día 5 de almacenamiento en las 3 repeticiones una pérdida de 72% y al día 10 de almacenamiento en las 3 repeticiones una pérdida de 73%. Los resultados de pérdida de vitamina C se deberían a que, la vitamina C o ácido ascórbico, es una vitamina hidrosoluble (Badui, 2006), y en vista que el principal componente que se elimina en la liofilización es el agua, la pérdida de este nutriente se daría proporcional al agua.

Tabla 4. Resultados de la composición nutricional (potasio, sodio y vitamina C) de las bananas frescas y liofilizadas en los tres estados de maduración

	Día 0	Día 5	Día 10
Potasio mg (Fresco)	340,13 ^a	361,57 ^a	357,97 ^a
Potasio mg (Liofilizado)	340,43 ^a	347,00 ^a	340,77 ^a
Calcio mg (Fresco)	4,07 ^a	4,17 ^a	4,67 ^a
Calcio mg (Liofilizado)	3,73 ^a	4,43 ^a	3,93 ^a
Vitamina C mg (Fresco)	8,40 ^a	9,23 ^a	8,63 ^a
Vitamina C mg (Liofilizado)	2,27 ^b	2,63 ^b	2,30 ^b

Subíndices iguales indica ausencia de diferencia estadística significativa, subíndices diferentes indica presencia de diferencia estadística significativa.

3.4.- Análisis físicos (pesos, pérdida de humedad y sólidos totales) entre las rodajas de bananas liofilizadas de acuerdo a su estado de maduración

a. Pesos

El análisis de varianza de los pesos de las rodajas de bananas liofilizadas comparados entre sus tres estados de maduración, dio como resultado un *p* valor de 0.219, NO existe diferencia significativa entre el peso de las rodajas de bananas liofilizadas según su estadio de maduración. El 40 % de la variabilidad del peso observado se debería a que el proceso de liofilización se realizó a bananas en diferente estado de maduración, el efecto del estado de maduración al momento de la liofilización fue responsable del 40% de variabilidad.

b. Pérdida de humedad

Se observa un *p* valor de 0.3657, por lo tanto, NO existe diferencia significativa entre la pérdida de humedad de las rodajas de bananas liofilizadas comparadas respecto a su estadio de maduración. El 28 % de la variabilidad de la pérdida de humedad observada se debería a que, el proceso de liofilización se realizó a bananas en diferente estado de maduración, el efecto del estado de maduración al momento de la liofilización fue responsable del 28% de variabilidad en la pérdida de humedad.

c. Sólidos totales

Se observa un *p* valor de 0.0003, siendo este menor al grado de significancia de 0.05, SI existe diferencia significativa entre el contenido de sólidos totales de las rodajas de bananas liofilizadas comparados respecto a su estadio de maduración. El 98 % de la variabilidad del grado de sólidos totales observados se debería a que, el proceso de liofilización se realizó a bananas en diferente estado de maduración, el efecto del estado de maduración al momento de la liofilización fue responsable del 98% de variabilidad en el grado de sólidos totales.

Tabla 5. Resultados de los sólidos totales de las bananas frescas y liofilizadas en los tres estados de maduración

	M1	M2	M3
Sólidos totales bananas frescas (°Brix)	12,40 ^a	16,33 ^b	19,66 ^c
Sólidos totales bananas liofilizadas (°Brix)	12,00 ^a	16,33 ^b	19,13 ^c

Subíndices iguales indica ausencia de diferencia estadística significativa

3.5.- Análisis sensorial de las rodajas de banana liofilizadas de acuerdo a su estado de maduración

a. Análisis sensorial descriptivo

Color: la valoración sensorial del color, ordenada en la escala del 1 al 10 (siendo 1 tendiente a blanco y 10 tendiente a amarillo), ubica al tratamiento con las rodajas de banana liofilizada en estado de maduración verdoso, con un puntaje promedio de 2.41, en segundo lugar al tratamiento con las rodajas de banana liofilizada en estado amarillento 1 con un puntaje de 3.09, y en tercer lugar a las rodajas de banana liofilizada en estado amarillento 2, con un puntaje de 3.29. Después de realizar el análisis de varianza obtenemos un *p* valor de 0.2573 siendo mayor al grado de significancia 0.05, NO existe diferencia significativa entre la valoración sensorial del color de las rodajas de bananas liofilizadas respecto a su estadio de maduración.

Aspecto: la valoración sensorial del aspecto, ordenada en la escala del 1 al 10 (siendo 1 un aspecto desagradable y 10 un aspecto agradable), ubica al tratamiento con las rodajas de bananas liofilizadas en estado de maduración verdoso con un puntaje de 6.72, a las rodajas de banana liofilizada en estado de maduración amarillento 1, un puntaje de 7.19 y las rodajas de bananas liofilizadas en estado amarillento 2, un puntaje en cuanto al aspecto de 6.45. Después de realizado el análisis de varianza se puede observar un *p* valor de 0.3643, es decir no existe

diferencia significativa entre la valoración del aspecto de las rodajas de bananas liofilizadas respecto a su estadio de maduración.

Aroma: la valoración del aroma ordenada en la escala del 1 al 10 (siendo 1 extremadamente débil y 10 extremadamente fuerte), ubica a las rodajas de banana liofilizada en estado verdoso una valoración de 3.39 puntos, a las rodajas de bananas liofilizada en estado amarillento 1 una valoración de 4.28 y a las rodajas de bananas liofilizada en estado amarillento 2 una valoración de 3.91. Después de realizado el análisis de varianza, se puede observar un *p valor* de 0.5333, es decir no existe diferencia significativa entre la valoración del aroma de las rodajas de bananas liofilizadas respecto a su estadio de maduración.

Sabor: la valoración del aroma ordenada en la escala del 1 al 10 (siendo 1 extremadamente débil y 10 extremadamente fuerte), ubica a las rodajas de banana liofilizada en estado de maduración verdoso una puntuación de 4.24, a las rodajas de banana liofilizada en estado de maduración amarillento 1 una puntuación de 6.58 y a las rodajas de bananas liofilizada en estado de maduración amarillento 2 una puntuación de 5.14. Después de realizado el análisis de varianza, se puede observar un *p valor* de 0.0130, el cual es menor al grado de significancia de 0.05, es decir SI existe diferencia significativa entre la valoración del sabor de las bananas respecto a su estadio de maduración.

b. Análisis sensorial simple

La valoración de la aceptación general de las bananas liofilizadas en distintos estados de maduración fue, rodajas de banana liofilizada verdosa, valoración de 4.76 puntos, rodajas de banana liofilizada amarillento 2, valoración de 5.39 y rodajas de banana liofilizada amarillento 1, valoración de 6.79; siendo, la escala (1 poca aceptación, 10 mucha aceptación.). Después de realizado el análisis de varianza, se registra un *p valor* de 0.0342, es decir SI existe diferencia significativa entre la valoración de la aceptación de las bananas liofilizadas respecto a su estadio de maduración.

El estadio 1 de maduración obtuvo resultados prevalentes de “me gusta poco”, para el estadio 3 de maduración se obtuvo una prevalencia de “me gusta mucho”, mientras que en el estadio 2 de maduración se obtuvo una prevalencia mucho más alta en el indicador “me gusta mucho”.

Tabla 6. Análisis sensorial descriptivo y aceptación general de la banana liofilizada

	M1	M2	M3
Color	2,41 ^a	3,09 ^a	3,29 ^a
Aspecto	6,72 ^a	7,19 ^a	6,45 ^a
Aroma	3,39 ^a	4,28 ^a	3,91 ^a
Sabor	4,24 ^a	6,58 ^b	5,14 ^{ab}
Aceptación general	4,76 ^a	6,79 ^b	5,39 ^{ab}

Letras en la misma fila iguales indica ausencia de diferencia estadística significativa

4.- CONCLUSIONES

Las bananas (*Musa x paradisíaca*) almacenadas a 15 °C durante 10 días, presentaron pérdida de peso desde el día 0 hasta el día 5 de 4,73 g y hasta el día 10 de 16.1 g., y pérdida de diámetro desde el día 0 hasta el día 5 de 0.26 cm y hasta el día 10 de 0.66 cm. Tanto en el peso de las bananas como en el diámetro, se encontraron diferencias estadísticas (*p valor* < 0.0001), debido a que, los frutos climatéricos como lo banana aumentan su tasa de respiración y su producción de etileno. Durante este proceso, el almidón se convierte en azúcar y la pulpa se hace más blanda, lo que hace que esta fruta sea dulce y a la vez se produce la eliminación de agua de la cáscara, tanto a la atmósfera como a la pulpa.

Existieron diferencias estadísticas significativas entre los pesos de las rodajas de bananas frescas de los tres estados de maduración con respecto a las rodajas de bananas liofilizadas. La pérdida de peso (humedad) fue de 72,11%, 67,29% y 74,42%, para los estados de maduración 1, 2 y 3, respectivamente. Esta pérdida es muy importante para considerar a la liofilización como un proceso de conservación en el alimento debido a que bajos valores de actividad de agua inhiben el crecimiento de microorganismos, inhiben el deterioro del sabor y color por reacciones químicas y la pérdida de propiedades fisiológicas. La eficiencia del equipo fue muy alta logrando extraer un 73.10% en promedio del peso total del producto original.

Con respecto a los sólidos totales, no existen diferencias estadísticas significativas entre los °Brix de las rodajas de bananas frescas, comparándolas con las rodajas de bananas liofilizadas en los tres estados de maduración. El estado de maduración 1 tuvo 0.4 °Brix de reducción, el estado de maduración 2 tuvo 1.2 °Brix de reducción y el estado de maduración 3 tuvo 0.53 °Brix de reducción en el producto liofilizado con relación al fruto fresco.

Con relación al color, los 3 estados de maduración presentaron un cambio en el producto seco con relación al fresco, siendo las 3 muestras más claras (indicador L*), menos brillantes (indicador C*) y tendientes al rojo de acuerdo a su matiz (indicador H).

La composición nutricional de las rodajas de bananas frescas y liofilizadas, en cuanto a potasio (mg.) y calcio (mg.), no presentan diferencias estadísticas significativas; mientras que la vitamina c en las rodajas de bananas frescas y liofilizadas, si presentan diferencias estadísticas significativas. El proceso de liofilización es un método de conservación que elimina el agua de los alimentos, por lo que, no se ven afectados la mayoría de componentes

como es el caso del potasio y calcio, más en vitamina C el contenido es menor ya que esta es una vitamina hidrosoluble, la cual se perdería en el proceso de sublimación que produce el equipo.

Los análisis físicos realizados solo a las rodajas de bananas liofilizadas, comparándolas en sus 3 estados de maduración, indican que no hay diferencias estadísticas significativas en los pesos de rodajas liofilizadas en cualquiera de estos estados de maduración. En la humedad de las rodajas, en sus distintos estados de maduración, tampoco se observan diferencias estadísticas significativas independiente del estado de maduración; pero si observamos diferencias estadísticas significativas en los sólidos totales de las rodajas dependiendo de su estado de maduración, directamente los sólidos totales aumentan a medida que se avanza en la madurez de los frutos debido a la conversión de almidones en azúcares.

Los análisis sensoriales descriptivos realizados en los 3 estados de madurez de banana liofilizada, indican que, en color, aspecto y aroma no existen diferencias significativas y los 3 estados respecto a los aspectos señalados tienen mucha similitud independiente del estado de maduración. En el descriptor sabor, se observan diferencias significativas entre los 3 estados de madurez, reportando que los mejores resultados se obtuvieron en el estado amarillento 1 (5 días de almacenamiento); de esta forma este es el mejor estado para realizar la liofilización, seguido por el estado de amarillento 2 (10 días de almacenamiento).

El Análisis sensorial de aceptación general, realizados en los 3 estados de madurez de banana liofilizada, indica que, el estado amarillento 1 (5 días de almacenamiento) es el mejor evaluado por los panelistas, seguido del estado amarillento 2 (10 días de almacenamiento) y finalmente el estado verdoso (0 días de almacenamiento) que tuvo una aceptación mala.

El producto final presentó características sensoriales muy buenas y con reducción de humedad adecuada para este tipo de productos. Se realizó una evaluación y se identificó que estas propiedades se conservan mínimo durante 3 meses a temperatura ambiente, teniendo la precaución de almacenarlas en envases herméticos que impidan la rehidratación del fruto.

5.- AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Hubert Alem y al Lic. Gustavo Trincherro, quienes colaboraron acertadamente en el presente trabajo, y también al Ing. Agr. José Fernández Lozano por brindarme documentación valiosa.

Al SENESCYT, institución ecuatoriana que hizo posible la realización de este posgrado.

6.- REFERENCIAS

1. Alvarado, J. de D. (1979). "Ensayos de almacenamiento y estudio de un mecanismo de secado a temperaturas bajas en papa (*Solanum Tuberosum*)". Tesis para optar por el título de Magister Scientifiae. CESNA-INCAP. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. p. 68.
2. Alvarado, J. de D. (1996). "Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos". Ed. RadioComunicaciones OEA, Quito, Ecuador.
3. Badui, S. (2006). "Química de los Alimentos", 4a. ed. Edit. Pearson. México. p.387.
4. Barbosa, G. V; Vega H. (2000). "Deshidratación de alimentos". España. Acribia S.A. 1- 224p.
5. Barrett, D; Somogyi, L; Ramaswamy, H. (2005). "Processing Fruits. Science and Technology". 2ª ed. USA. pp. 661 – 678. 2005.
6. Belalcázar, S. (1991). "El cultivo del plátano en el trópico". Cali. Ed. Feriva. p. 376.
7. Cañizares J. (2003). "Deshidratación de la papa mediante Liofilización Atmosférica". Universidad Central del Ecuador, Escuela de Ingeniería Química, Quito-Ecuador.
8. Cayón, D.G., G.A. Giraldo y M.I. Arcila. (2000). "Fisiología de la maduración. En: poscosecha y agroindustria del plátano en el Eje Cafetero de Colombia". Corpoica, Comité de Cafeteros, Universidad del Quindío, ASPLAT, Colciencias, Fudesco, Armenia (Colombia). pp. 27-37.
9. Champion, J. (1968). "El Plátano". 1ª. ed. Edit. Blume. España. pp.11-28, 141-164, 178- 179.
10. De la Torre, F., Philippe C. (1989). "Compendio de Agronomía Tropical". Costa Rica. pp.97 -120.
11. FAO, Pedro, A., Dankers, C., Pascal, L., Pilkauskas, P. (2004). "La Economía Mundial del Banano 1985-2002".
12. FAO. (2009). FAOSTAT- Agriculture. FAOSTAT | © FAO Dirección de Estadística.
13. Fellows, P. (2000). "Food processing technology: principles and practice". 2ª ed. Ed. CRC Press LLC.

14. Giraldo, H. (2004). "Conservación de frutas por método combinado". Revista de Investigaciones. Universidad del Quindío N° 14.
15. Hanson, L. (1976). "Commercial processing of fruits. Food Technology". Review No. 30, Noyes Data Corporation, New Jersey. pp. 41–100.
16. Holdsworth, S.D. (1986). "Advances in the dehydration of fruits and vegetables". In D. MacCarthy (Ed.), Concentration and Drying of Foods, Elsevier Applied Science, London, pp. 293–303.
17. ISO 6658:2005. Norma IRAM: 20002. "Análisis Sensorial". Guía General para la Metodología (ISO 6658:2005, MOD).
18. Jayaraman, K.S. and D.K. Das Gupta. (1992). "Dehydration of fruits and vegetables - recent developments in principles and techniques". Drying Technol., pp. 1-10.
19. Jennings, A. (2008). "Lyophilization. Introduction and Basic Principles". New York. 4-8, pp. 261-355.
20. Kader, A. (2001). "Quality assurance of harvested horticultural perishables". Acta Hort. pp. 51-55, 553.
21. Kaewchana R, Niyomlao W, Kanlayanarat S. (2006). Relative humidity influences pericarp browning of litchi cv. "Hong Huay". Acta Hort. 712: 823-827.
22. Kasmire, R., Thompson, J. (1992). "Selecting a cooling method, in Postharvest Technology of Horticultural Crops". Ed Kader AA, University of California, Publication 3311, Chapter 8 (III), pp. 63-8.
23. Krokida MK, Karathanos VT, Maroulis ZB. (1998). "Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products". Journal of Food Engineering pp. 35, 369.
24. Lado y Yousef. (2002). "Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms". p. 3.
25. Landrigan M, S Morris, D Eamus, W McGlasson. (1996). "Postharvest browning of rambutan a consequence of water loss". J. Am. Soc. Hort. Sci. 121: 730-734.
26. Mascheroni, R.H. (2002). "Estudios y desarrollos en deshidratación por métodos combinados". IX Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenos Aires, 7-9 agosto de 2002. Simposio "Avances Tecnológicos en los medios tradicionales de conservación".
27. Okos, M.R., G. Narsimhan, R.K. Singh, and A.C. Weitnauer. (1992). "Food dehydration". In D.R. Heldman and D.B. Lund (Eds.), Handbook of Food Engineering, Marcel Dekker, New York, pp. 437–562.
28. Orrego A., Carlos E. (2004). "Apuntes del Curso Procesamiento de Alimentos: línea de profundización". Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura – Sede Manizales.
29. Parikh, H. (1990). "Some Structural Changes during Ripening of Mangoes (*Mangifera indica* var. Alphonso) by Abscissic Acid Treatment. Annals of Botany".
30. Paul R, Chen N. (1987). "Changes in longan and rambutan during postharvest storage. Hortscience". p.p. 22, 1303-1304.
31. Perry H., Robert. (1997). "Manual del Ingeniero Químico", 6ta ed., Ed. Mc Graw Hill, Bogotá, Colombia, tomo 4, p.p. 17-14.
32. Potter, N. (1986). "Food Science". 5° Ed. Edit. Kluwer Academic. Estados Unidos.
33. Rey, L. (1975). "Freezing and freeze-drying". Proc. R. Soc. Lond. pp. 9-19.
34. Salunkhe, D.K., H.R. Bolin, and N.R. Reddy. (1991). "Storage, Processing, and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables". 2nd ed., Vol. 1 and 2. CRC Press, Boca Raton, FL.
35. Samson, J. (1981). "Collegedictaat Gewas en Teelttechniek, deell". Departamento de Cultivos Tropicales, UAW, Wageningen.
36. Sánchez, A. (1982). "Cultivos de Plantación. Manuales para Educación Agropecuaria". Edit. Trillas. México 1982. p.p. 53-62.
37. Shackell, L. (1909). "An improved method of disiccation, with some applications to biological problems, am J Physiol". p. 7-11.
38. Somogyi, L.P. and B.S. Luh. (1986). "Dehydration of Fruits". In J.G. Woodroof and B.S. Luh (Eds.), Commercial Fruit Processing, 2nd ed., AVI Publishing, Westport, CT, pp. 353–405.
39. Soto, M. (1985). "Bananos; cultivo y comercialización". Litografía e Imprenta LIL S.A., San José-Costa Rica.
40. Umaña, E. (2004). "Conservación de alimentos por frío. Refrigeración/Congelamiento". Fiagro y Fusades Proinnova. p.27.

