GOBIERNO NACIONAL

FUNDACIÓN FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS - FUNDAQUIM
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS UNA – FCQ-UNA

GUIA

DE

SECADO Y ENVASADO

DE

NUECES DE MACADAMIA



KAREN MARTINEZ, JUAN CARLOS MARTÍNEZ,
y EDELIRA VELÀZQUEZ

Proyecto 14 INV 001 "Estudio del proceso de industrialización de nueces de macadamia, con calidad de exportación"

PROCIENCIA

CONACYT

Este proyecto fue financiado por CONACYT a través del Programa PROCIENCIA con recursos del Fondo para la Excelencia de la Educación e Investigación - FEEI del FONACIDE.

LOS AUTORES

Karen Patricia Martínez Jara es Licenciada en Tecnología de Alimentos e Ingeniera Química. La Ingeniera es Docente investigador y Jefa del Dpto. Microbiología Industrial de la Dirección de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Químicas.

Juan Carlos Martínez es Ingeniero Químico y Docente investigador del Dpto. de Aplicaciones Industriales de la Dirección de Investigación de la Facultad de Ciencias Químicas.

Edelira Velázquez es Ingeniero Químico y Docente investigador del Dpto. de Aplicaciones Industriales de la Dirección de Investigación de la Facultad de Ciencias Químicas.

LOS COLABORADORES
Dra. Laura Mereles
BQ.Eva Coronel Méndez
Ing. Mario Smidt
Ing. Laura Correa
Ing. Eduardo Sandoval
Ing. Jorge Rodas
Vanessa Resquín
Antonella Elizaur
Andrea Paredes
Alejandro Satof
Dora Sanchez
Adrián Torales

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES A:

Dr. Blas Vázquez
Presidente de Fundaquim

Dra. Zully Vera de Molinas
Decana de la Facultad de Ciencias Químicas

Dr. Rubén Flores
Vicedecano de la Facultad de Ciencias Químicas

Dra. Silvia Caballero
Directora de Investigaciones

Iván Villalba
Técnico de equipos

EDICIÓN Y DIAGRAMACIÓN
Noemí W. de Montiel
Obispo Maíz 2288
Asunción, Paraguay
IBSN:
1a Impresión enero, 2018

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) - www.conacyt.gov.py SEDE 1: Dr. Justo Prieto Nº 223 entre Teófilo del Puerto y Nicolás Billof, Villa Aurelia. Telefax: +(595-21) 506 223 / 506 331 / 506 369. Código Postal 1867 SEDE 2: Dr. Bernardino Caballero Nº 1240 entre Eusebio Lillo y Teniente Vera, Barrio Herrera. Telefax: +(595-21) 606 774 .

Proyecto 14 INV 001
"Estudio del proceso de industrialización de nueces de macadamia, con calidad de exportación"

GUIA DE SECADO Y ENVASADO DE NUECES DE MACADAMIA

AUTORES

KAREN MARTINEZ, JUAN CARLOS MARTÍNEZ, EDELIRA VELÀZQUEZ

COLABORADORES

Laura Mereles
Eva Coronel Méndez
Mario Smidt
Laura Correa
Eduardo Sandoval
Jorge Rodas
Vanessa Resquín
Antonella Elizaur
Andrea Paredes
Alejandro Satof
Dora Sanchez
Adrián Torales

ÍNDICE GENERAL

Cápitulo 1 ANTECEDENTES 1

Capítulo 2 DESCRIPCIÓN DE LA MACADAMIA 2

Capítulo 3 COSECHA Y POSCOSECHA 4

Cosecha 4

Poscosecha: Descarpelado y clasificación 6

Capítulo 4 SECADO DE LAS NUECES DE MACADAMIA 8

Secado en laboratorio 9

Resultados obtenidos 10

Diseño de un prototipo de secadero industrial 12

Secadero tipo silo 13

Operación del secadero 21

Capítulo 5 QUEBRADORA DE NUECES DE MACADAMIA 24

Vida útil de los alimentos 26

Equipo de envasado 27

Material de envasado 28

Caracterización Sensorial 32

Envasado de nueces de macadamia en la planta industrial MACPAR 34

Apéndice: SECADERO PARA NIS DE MACADAMIA: Especificaciones técnicas y lista de materiales, servicios y equipos 36

Referencias 37

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultado del análisis microbiológico de las nueces cosechadas en malla y en suelo 6

Tabla 2. Condiciones de secado y tiempo requerido 10

Tabla 3. Análisis fisicoquímico y microbiológico de la materia prima y de la nuez seca 10

Tabla 4. Características de la nuez almacenada a temperatura ambiente envasada con diferentes atmósferas. 33

Lista de Figuras

Figura 1. Árbol de Macadamia. Fuente Cadogan, 2013 3

Figura 2. Frutos de macadamia 3

Figura 3. NIS de macadamia 4

Figura 4. Almendra seca 4

Figura 5. Recolección Manual 5

Figura 6. Recolección en Redes (Fuente: Patente US5189871) 5

Figura 7. Partes del fruto de la nuez de macadamia (Fuente: Sociedad australiana de macadamia) 7

Figura 8. Selección de las nueces por flotación (Fuente: Quintas, 2011) 7

Figura 9. Esquema de procesamiento realizado en laboratorio para obtener las nueces secas y envasadas. 8

Figura 10. Secadero tipo silo con sistema de calefacción de aire 13

Figura 11. Dimensiones del silo 14

Figura 12. Secador tipo silo 15

Figura 13. Parte superior del secadero tipo silo con abertura para alimentación 16

Figura 14. Malla de soporte de las nueces dentro del secadero 16

Figura 15. Sistema de circulación y calefacción de aire 17

Figura 16. Horno de combustión 18

Figura 17. Disposición de ladrillos refractarios 18

Figura 18. Parrilla del horno de combustión 19

Figura 19. Corteza de la nueces utilizada como combustible 19

Figura 20. Tubos aletados 21

Figura 21. Secadero tipo silo con circulación de aire a temperatura ambiente 22

Figura 22. Secaderos tipo silo 23

Figura 23. Sistema de circulación y calefacción de aire para secadero tipo silo 23

Figura 24. Quebradora de NIS de macadamia 25

Figura 25. Clasificación de almendra 25

Figura 26. Equipo para envasado utilizado en laboratorio 28

Figura 27. Equipo para envasado utilizado en la planta industrial 29

Figura 28. Flujograma de estudio envasado en diferentes atmósferas. (Fuente: Elizaur et al, 2017) 30

Figura 29. Flujograma de proceso de envasado en atmosfera de nitrógeno: anhídrido carbónico 50:50 (Fuente: Elizaur et al, 2017) 32

Figura 30. Análisis sensorial de perfil de sabor y textura 33

Figura 31. Equipo de envasado al vacío en funcionamiento en la planta industrial de MACPAR 34

Figura 32. Nueces envasadas al vacío en bolsas PET/AL/PE 35

Figura 33. Nueces envasadas al vacío embaladas en cajas. 35

Cápitulo 1 ANTECEDENTES

La nuez de macadamia (*Macadamia integrifolia*) se cultiva en el Paraguay debido al clima favorable para su desarrollo, sus almendras son muy apreciadas a nivel mundial debido a su buen sabor y alto contenido de aceites sin colesterol, compuestos principalmente por ácido oleico, palmítico y palmitoleico (Carvajal et al., 2010). Sin embargo, existen limitaciones para su exportación, cuando no cumplen los parámetros de calidad establecidos internacionalmente. Las nueces maduras se desprenden del árbol por sí solas y caen al suelo donde son cosechadas (Bowen, 1991). El contenido de humedad puede ser alto, 22-25%, favoreciendo el crecimiento de hongos, el aumento de la germinación, y la aceleración de los procesos de oxidación e hidrólisis de la materia grasa; reduciendo la calidad del producto y su precio en el mercado.

Según la Sociedad Australiana de Macadamia (AMS), para reducir los efectos dañinos del alto contenido de humedad el secado debe comenzar lo antes posible después de la caída de la nuez. Incluso cuando está parcialmente seco, el deterioro del grano continúa. La nuez en cáscara o por sus siglas en inglés *Nut In Shell* (NIS) con 10% de humedad sólo se puede almacenar durante aproximadamente dos semanas a 25ºC antes de que la vida útil se vea afectada. El secado es una etapa crítica del procesamiento de las nueces ya que durante la misma se pueden modificar la estructura de los glicéridos y acelerar los procesos de rancidez oxidativa.

El grado de rancidez oxidativa se puede cuantificar mediante la determinación del índice de peróxidos que es una medida del oxígeno unido a las grasas en forma de peróxido. Así también, se puede medir el aumento de los ácidos grasos libres por medio de la determinación de acidez que consiste en la neutralización de estos ácidos. (Rembado, 2009).

El secado es una etapa crítica del procesamiento de la nuez de macadamia ya que durante esta etapa se pueden modificar la estructura de los glicéridos y las características físicas de las nueces. Al disminuir el contenido de humedad de la almendra se prolonga la vida útil, un contenido de humedad entre 3 y 3,8% permite almacenar las nueces durante 6 meses mientras que a 1,2% se extiende hasta 12 meses. (AMS, 1995). Quintas (2011) menciona que el secado se realiza hasta que el contenido de humedad de la almendra sea de 1,5%; mientras que, la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas indica una humedad de almendra menor al 2% para su comercialización (UNECE STANDARD DDP-23, 2010).

Constantemente se proponen nuevos métodos de secado que aseguren el menor efecto negativo sobre las características nutricionales y organolépticas[1] de los alimentos. En el caso de las nueces el método más usado para el secado es la circulación de aire a temperatura ambiente o mayor a la temperatura ambiente a través del lecho de las nueces. Esto se hace en diferentes tipos de secaderos, tipo silo, de bandejas, o tipo túnel.

La cosecha de macadamia se realiza en Paraguay desde fines de diciembre hasta principios de agosto, dependiendo de la zona de producción y de las variedades sembradas (Cadogan, 2013). Por esta razón, es necesario asegurar el abastecimiento de este producto, manteniendo los estándares de calidad, específicamente los índices de peróxidos y de acidez, exigidos para su consumo.

1 Son las características físicas que pueden ser observados por los sentido, sabor, olor, color, textura, o temperatura.

La exposición a la luz, al calor, al oxígeno y a la humedad son factores que aceleran el proceso de rancidez de los aceites de las nueces de macadamia durante el almacenamiento. La degradación de los alimentos, debido principalmente a los procesos de oxidación de lípidos que son desarrollados posterior al secado, puede ser controlada durante el almacenamiento, empleando atmósferas protectoras, compuestas por gases como dióxido de carbono, nitrógeno, o una mezcla adecuada de estos gases para prolongar la vida útil de las nueces. (Ramos & Castaño, 2004). La oxidación de los aceites de las nueces de macadamia es uno de los factores más importantes a tener en cuenta durante el almacenamiento.

El alcance de esta guía está dado a los procesos de secado y envasado al vacío y en atmósfera modificada, fundamentado en los resultados experimentales realizados en laboratorio y en un prototipo industrial, con el propósito de obtener y conservar la calidad fisicoquímica, nutricional, y microbiológica de las nueces de macadamia como producto final y que se ajusten a las especificaciones técnicas establecidas en las normativas nacionales e internacionales. Los métodos de secado a escala de laboratorio fueron transferidos a la empresa MACPAR SA (Macadamia Paraguaya SA) donde fue construido, instalado, y operado el prototipo de SECADERO TIPO SILO con sistema de circulación y calefacción de aire que fue diseñado en base a los resultados experimentales de laboratorio. Como el secado depende de las condiciones iniciales del fruto de la macadamia se ha incluido las etapas de cosecha y poscosecha basadas en recopilaciones de experiencias de otros países y del Paraguay, algunos reportados en el «Manual de cosecha y postcosecha de nueces de *Macadamia sp*» elaborado por la Ing. Agr. Cristina Cadogan Maas.

Se espera que este aporte se constituya en una herramienta práctica y útil para el sector productivo de nueces de macadamia para lograr el objetivo de asegurar un producto de buena calidad para los consumidores.

Capítulo 2 DESCRIPCIÓN DE LA MACADAMIA

La macadamia es un árbol originario de Australia. La producción comercial del árbol se alcanza a partir de los 6 y 7 años, estabilizándose a los 12 años. En huertas bien manejadas se puede esperar cosechas de mínimo 20 kg/árbol y entre 7 a 8 toneladas por hectárea (Quintas, 2011).

Existen dos especies comestibles del género macadamia, la *Macadamia integrifolia* y *Macadamia tetraphylla*. La primera especie proviene del sureste de Queensland y se adapta a zonas cálidas. La segunda es originaria de las áreas costeras del norte de New South Wales, donde las condiciones climáticas son más templadas. (Quintas, 2011).

Según Víquez de Mongue & Arias (1994), la nuez de Macadamia integrifolia, se destaca por sus características organolépticas y la calidad nutritiva que ésta presenta para el consumo humano, ya que posee un alto contenido de aceites (71-76%), de bajo nivel de ácidos grasos insaturados.

El carozo es liso y pequeño, las hojas tienen bordes ondulados con tres hojas por nudo (Walforth, 2006). En las Figuras 1,2,3, y 4 se presentan el árbol, los frutos enteros, el fruto descarpelado o NIS (Nut in Shell), y la almendra.



Figura 1. Árbol de Macadamia. Fuente Cadogan, 2013



Figura 2. Frutos de macadamia



Figura 3. NIS de macadamia



Figura 4. Almendra seca

Capítulo 3 COSECHA Y POSCOSECHA

Cosecha

La cosecha de las nueces de macadamia se realiza de manera manual, las nueces después que maduran por sí solas se desprenden del árbol y caen al suelo donde son recolectadas (Bowen, 1991). Básicamente existen dos métodos para la recolección de los frutos, del suelo (Figura 5) y en redes (Figura 6).



Figura 5. Recolección Manual

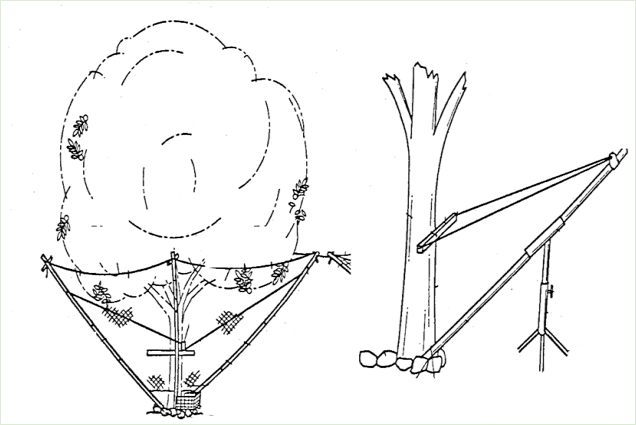


Figura 6. Recolección en Redes (Fuente: Patente US5189871)

La recolección manual del fruto del suelo deberá comenzar lo antes posible tras la maduración con el fin de reducir al mínimo los daños por ataques de hongos, exposición prolongada a ambientes húmedos, o la infestación de insectos.

La cosecha debe realizarse como mínimo cada tres días, la organización de cada finca dependerá de la cantidad de árboles que posea el productor y de la edad de los mismos. En días lluviosos la frecuencia de recolección debe aumentar, debiéndose cosechar los frutos caídos en el día.

Se debe evitar una prolongada exposición directa al sol ya que puede aumentar la rancidez y rotura de las cáscaras, lo cual aumenta el riesgo de contaminación. Un problema ocasionado por la cosecha tardía en épocas de alta humedad relativa es la presencia de un anillo en el centro de la almendra, una marcada coloración de este anillo causa el rechazo comercial de la fruta (Cadogan, 2013).

El uso de un sistema de mallas para árboles de nueces es ventajoso para evitar el contacto con el suelo y facilitar la recolección periódica, también reduce sustancialmente

los costos de mano de obra implicados en la recolección repetida. Se sugiere la instalación de mallas alrededor del árbol, enterrando estacas de 1,50 metros en cuatro esquinas de las cuales se sostiene la malla en dos secciones, una a cada lado del árbol y unido en el medio, logrando la suspensión de las nueces una vez caigan del árbol (Quintas, 2011). En la patente US5189871 (Figura 6) se plantea otro sistema de mallas para la recolección de frutos o nueces.

Los resultados de los análisis microbiológicos realizados a muestras tomadas del suelo y retenidas en mallas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultado del análisis microbiológico de las nueces cosechadas en malla y en suelo

Análisis	Método de recolección		Valor de referencia (máx.)*
	Malla	Suelo	
Hongos y levaduras (UFC/g)	$8.0x10^2$ a	$2.1x10^4$ b	$1x10^3$
Coliformes a 45 °C (UFC/g)	$4.2x10^1$ a	$1.2x10^3$ b	$1x10^3$
Aerobios mesófilos (UFC/g)	$2.9x10^4$ a	$5.1x10^4$ a	$1x10^5$
Salmonella spp.	Ausencia/25g	Ausencia/25g	Ausencia/25g

Promedio de resultados, n=5. Referencia. *Norma Paraguaya NP 15 004 15 de nueces de macadamia. En cada columna letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Mann-Whitney, p<0,05, 95%IC).

Se observó una variación significativa entre las muestras de nueces de macadamia frescas cosechadas por recolección del suelo y malla en el recuento de *Coliformes*, hongos y levaduras; siendo superior en las colectadas del suelo; pero no se observaron diferencias en el recuento de aerobios mesófilos totales. No se observaron diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos entre las nueces colectadas por los dos sistemas.

Poscosecha: Descarpelado y clasificación

Se recomienda eliminar el pericarpio, llamado carpelo, dentro de las 24 horas posteriores a su recolección. Esto se debe a que la presencia del carpelo indica a la semilla que esta debe germinar, por lo que comienza a haber translocación de los azúcares dentro de la almendra y se forma un halo de color más oscuro en la circunferencia de la macadamia (Cadogan, 2013). Además, debido a que posee un alto contenido de humedad (45%) se favorece el desarrollo de hongos y el deterioro de la calidad de las nueces si son guardados con el pericarpio.

No se deben mezclar nueces de más de 3 días de diferencia en la cosecha (Cadogan, 2013). Luego del descascarado se realiza una selección manual con el objetivo de eliminar nueces con diámetro menor a 18 mm, nueces mal peladas y las que presenten perforaciones de insectos o roedores (Macadamia Industry Quality Assurance Handbook, 1993). En la Figura 7 se presentan las partes del fruto de la nuez de macadamia.



Figura 7. Partes del fruto de la nuez de macadamia
(Fuente: Sociedad australiana de macadamia)

El siguiente método de selección consiste en la separación por flotación donde se sumergen las nueces con carozo en agua a temperatura ambiente, las que flotan se consideran como desecho separando así las nueces malas y con bajo contenido de aceite (APROMAC, 1996). En este proceso se eliminan también las partículas extrañas y se lava el producto. El método es efectivo para las nueces recién cosechadas cuando el contenido de humedad en base húmeda esta entre 20-25%, pero por debajo del 17% el método muestra ser deficiente ya que la nuez probablemente flotará a pesar de estar sana (Quintas, 2011).



Figura 8. Selección de las nueces por flotación (Fuente: Quintas, 2011)

En la Figura 9, se presenta el esquema general de procesamiento realizado en laboratorio para obtener las nueces secas y envasadas.



Figura 9. Esquema de procesamiento realizado en laboratorio para obtener las nueces secas y envasadas.

Capítulo 4 SECADO DE LAS NUECES DE MACADAMIA

El secado de los frutos consiste en la eliminación de agua hasta un nivel que prevenga el crecimiento de hongos y bacterias, de manera que conserve el aspecto y la calidad nutritiva del grano como alimento o su viabilidad como semilla (Dalpasquale, et al., 1991). La NIS cuando cae del árbol tiene un 22-25% de contenido de humedad (b.h.) de la almendra, por lo que es recomendable secar inmediatamente después de ser cosechada y descascarada. El producto para ser empacado y vendido debe poseer un contenido de humedad de la almendra de 1,5% según las normas de calidad (Quintas, 2011).

En estudios realizados en el Paraguay (Cadogan, 2013) se ha encontrado que se debe disminuir la humedad como mínimo al 10 % en un periodo de 15 días, pudiendo almacenarse en estas condiciones hasta un mes, siempre que se mantenga un flujo de aire. El secado desde una humedad del 10% hasta del 3%, se debería realizar en un mes como máximo, para evitar enranciamiento, lo cual se caracteriza por elevado índice de peróxido y elevada acidez.

Hasta la fecha en nuestro país el secado se realiza en secaderos a temperatura ambiente en un 90% de las instalaciones industriales, empleando secaderos de bandejas colocados en galpones con ventiladores de techo, silos con ventiladores, etc. en los cuales, aunque se logre la circulación del aire, no es suficiente para lograr un secado óptimo en el tiempo establecido debido a la elevada humedad relativa del aire que predomina en la temporada de cosecha.

Para disminuir el tiempo de secado se recomienda aumentar el caudal y/o la temperatura del aire de entrada al secadero. El aumento del caudal de aire tiene influencia sobre el tiempo de secado, pues la velocidad de desplazamiento del frente de secado es directamente proporcional al flujo de aire por unidad de masa del producto que hay que secar (Dalpasquale et al., 1991). En lugares donde la humedad relativa del aire es alta, el aumento del caudal del aire no es suficiente para lograr el secado, pues esa variable no influye en el potencial de secado del aire (Dalpasquale et al., 1991). En estos casos el calentamiento del aire resulta favorable para aumentar la velocidad de desplazamiento del frente de secado.

La temperatura del aire aplicado para el secado de la NIS dependerá del contenido de humedad de la almendra. Se recomienda que la temperatura no exceda los 40°C cuando las nueces tienen un contenido de humedad superior al 8%, posteriormente se puede aumentar la temperatura hasta 70°C. La razón de este aumento gradual de temperatura para secar la nuez es prevenir que la almendra sufra cambios de color en el centro que ocurren debido a que la cáscara tiene mayor contenido de humedad que la almendra, se satura y no tiene espacio para liberar más humedad; entonces, la parte central de la almendra se mancha y cambia su consistencia y este daño no se puede revertir (Quintas, 2011).

Para establecer las mejores condiciones de secado fueron realizados trabajos experimentales en laboratorio y a partir de los resultados obtenidos fue diseñado un prototipo de secadero con sistema de circulación forzada y calefacción del aire para la industria.

Secado en laboratorio

La primera etapa de secado se realizó desde la humedad inicial (20 a 22%) hasta llegar a una humedad del 8,0 %, empleando un secadero tipo silo, a una temperatura entre 38 a 40°C y caudal de 0,932 m^3/min del aire de entrada (correspondiente a una velocidad de 0,5 m/s).

La segunda etapa de secado se realizó desde la humedad del 8% hasta 1,5 % en secadero tipo silo, empleando aire a 50 y 65 °C y caudales de 1,64 m^3/min y 2,00 m^3/min (velocidades de 4,4 y 5,4 m/s respectivamente).

Los frutos fueron procesados inmediatamente luego de la recepción, se realizó el descarpelado en forma manual, la selección por flotación eliminando aquellos que flotaban, la clasificación por tamaño y posteriormente sometidos a la etapa de secado.

Se realizaron los análisis fisicoquímicos (humedad, acidez, e índice de peróxidos) y microbiológicos (recuento de mohos y levaduras, aerobios mesófilos totales y *Coliformes* a 45°C) al recibir las nueces de macadamia y al término del secado. En la Tabla 2, se presentan las condiciones de secado y el tiempo requerido. En la Tabla 3, son reportados los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos antes del secado y posterior al mismo.

Resultados obtenidos

Tabla 2. Condiciones de secado y tiempo requerido

Secado	Humedad	Temperatura de aire	Velocidad de aire	Tiempo de secado
PRIMERA ETAPA	20,7% a 8 %	38 a 40°C	0,5 m/s	14 horas
SEGUNDA ETAPA	8% a 1,5%	50 °C 65°C	5,4 m/s 5,4 m/s	21 horas 15 horas

Tabla *3*. Análisis fisicoquímico y microbiológico de la materia prima y de la nuez seca

Determinación	Unidades	Materia prima	Secado final	*Referencia (Valor máx.)
Humedad	%	20,7	1,8	1,5±0,3
Índice de peróxidos	meqO_2/kg de aceite	0, 3	Menor a 0,3	5
Acidez	% de ácido oleico	0,03	Menor a 0,03	0,5
Recuento de hongos y levaduras	UFC/g	$2,1.10^4$	$3,3.10^1$	1.10^3
Recuento de aerobios mesófilos totales	UFC/g	$5,1.10^4$	$6,3.10^2$	$1.\ 10^5$
Recuento de *Coliformes* 45°C	UFC/g	$1,2.10^3$	$0,7.10^1$	1.10^3
Salmonella	UFC/25g	Ausencia/ 25g	Ausencia/ 25g	Ausencia/ 25g

*Fuente: Norma Paraguaya NP 15 004 15 de nueces de macadamia

NOTAS IMPORTANTES

* Es posible reducir el tiempo de secado empleando una combinación adecuada de temperatura y velocidad de aire.
* Para humedades superiores a 8%, se recomienda emplear temperatura de 38 a 40°C y velocidad mínima de 0,5 m/s.
* Para humedades inferiores a 8 %, se puede emplear aire hasta 65°C y velocidad de aire de 5,4 m/s.
* El tiempo total de secado estaría entre 29 a 35 horas (14 horas para la primera etapa +15 a 21 horas para la segunda etapa).
* El índice de peróxido y la acidez no ha sufrido ningún cambio por efecto del secado y se encuentra muy por debajo de los valores máximos establecidos en la NORMA.
* El análisis microbiológico de las nueces secas se encuentra dentro del rango y mejora después del proceso de secado.
* El color de las nueces secas es crema claro, sin pardeamiento y se mantiene en el rango de lo deseado.
* Es importante resaltar que el proceso de descarpelado, clasificación y secado debe realizarse inmediatamente después de la colecta de los frutos y la frecuencia de recolección no debería ser mayor a tres días y en casos de lluvia realizarla diariamente.

Diseño de un prototipo de secadero industrial

Datos básicos

Tipo:	secadero tipo silo con sistema de calefacción de aire
Capacidad de carga:	800 a 1000 kg
Velocidad mínima de aire:	0,5 m/s
Temperatura de aire:	40 a 65 °C.
Combustible:	Cáscara de macadamia

Características del secador tipo silo

Los secadores de silo están diseñados para secar el material almacenado en el silo. En este tipo de secador, las nueces están sostenidas sobre una malla metálica, de modo que el aire precalentado circule en forma transversal a través del lecho.

Las ventajas de este tipo de secadero son que se pueden secar cantidades considerables de material por cada carga y que las necesidades de mano de obra no son tantas, comparado con un secador de bandejas. Una de las dificultades más importantes en la utilización de este tipo de secadero es la no uniformidad del contenido de humedad del producto medido en diferentes alturas del lecho.

Descripción del equipo

El equipo de secado está constituido por el silo y el sistema de impulsión y calentamiento del aire. Para calentar el aire se diseña un horno de combustión (quemador), sobre el cual está instalado un intercambiador de calor del tipo coraza y tubos. Los tubos poseen aletas para aumentar el área de transferencia de calor. Para la impulsión del aire a través del intercambiador de calor se utiliza un ventilador centrífugo impulsado por un motor eléctrico de 4 HP que suministra un caudal de 4.400 m^3/h.

El combustible utilizado en el horno es la corteza (carozo) de la nuez de macadamia. El aire necesario para la combustión ingresa por el cenicero, atraviesa la parrilla a través de las ranuras de la misma y se pone en contacto con el combustible. Una vez que el combustible se quema, los gases producidos circulan por el interior de los tubos del intercambiador, para luego salir a través de la chimenea. Así transfiere calor al aire que circula por el exterior de los tubos. En la Figura 10 se presenta un esquema del secador con sistema de calefacción de aire. En el Apéndice figura las especificaciones técnicas del equipo y una lista de materiales, equipos, y servicios utilizados.

Las ventajas de este tipo de secadero son que se pueden secar cantidades considerables de material por cada carga y que las necesidades de mano de obra no son tantas, comparado con un secador de bandejas.

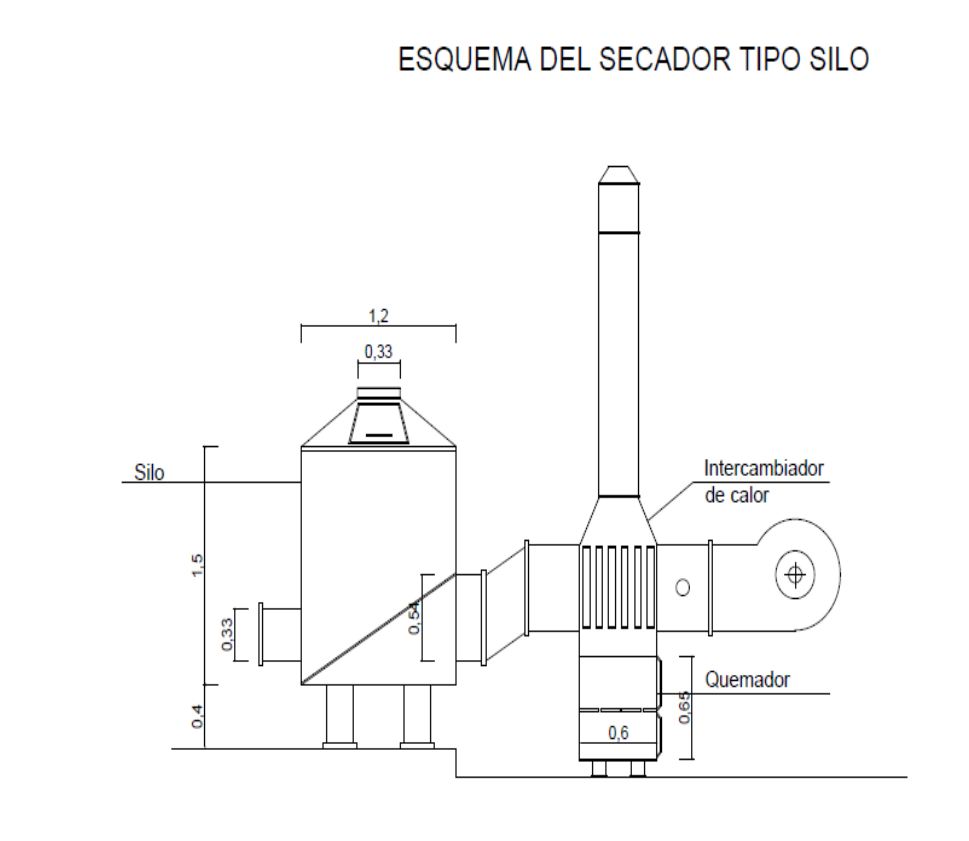


Figura 10. Secadero tipo silo con sistema de calefacción de aire

A continuación, se detalla cada uno de los componentes del sistema del secadero tipo silo con sistema de calefacción de aire:

Secadero tipo silo

El silo está constituido por un cuerpo cilíndrico de fondo plano y en la parte superior tiene forma de tronco de cono. Una malla metálica inclinada, que sirve de soporte a las nueces, se encuentra en la parte inferior del cilindro. El aire caliente ingresa a través de un conducto por debajo de dicha malla y se distribuye a través del lecho en forma ascendente, saliendo por la parte superior. La velocidad del aire en el interior del silo es de 1 m/s aproximadamente.

En la parte superior, en la sección cónica, se dispone de una abertura que permite introducir las nueces frescas. La carga de las nueces se realiza manualmente. Una vez terminado el secado, las nueces son extraídas del silo a través de un conducto cilíndrico, ubicado en la parte más baja del silo. El silo se encuentra aislado térmicamente mediante una lámina de espuma de poliuretano de 10 mm de espesor.

En el conducto de entrada del secadero se encuentra instalado un medidor de temperatura con sensor, tablero digital, sistema de alarma para alerta de temperatura máxima permisible y un medidor de caudal de aire con lectura digital para velocidades hasta 20 m/s.

Dimensiones del silo

El silo está fabricado de chapa de acero al carbono de 3 mm de espesor. La capacidad del mismo es de entre 800 y 1.000 kg por carga, aproximadamente. El cuerpo cilíndrico tiene un diámetro de 1,20 m y una altura de 1,50 m. La abertura de descarga tiene 0,15 m de diámetro

En la parte superior se encuentra la tapa en forma de tronco de cono de 0,30 m de altura. En el mismo se encuentra la abertura de carga, en forma de trapecio, de 0,30 m de lado, 0,52 m de base mayor y 0.32 m de base menor. El conducto de salida del aire húmedo tiene 0,15 m de altura y 0,33 m de diámetro. El aire ingresa al silo por un conducto de sección cuadrada de 40 x 40 cm. Las dimensiones del silo se muestran en la Figura 11.

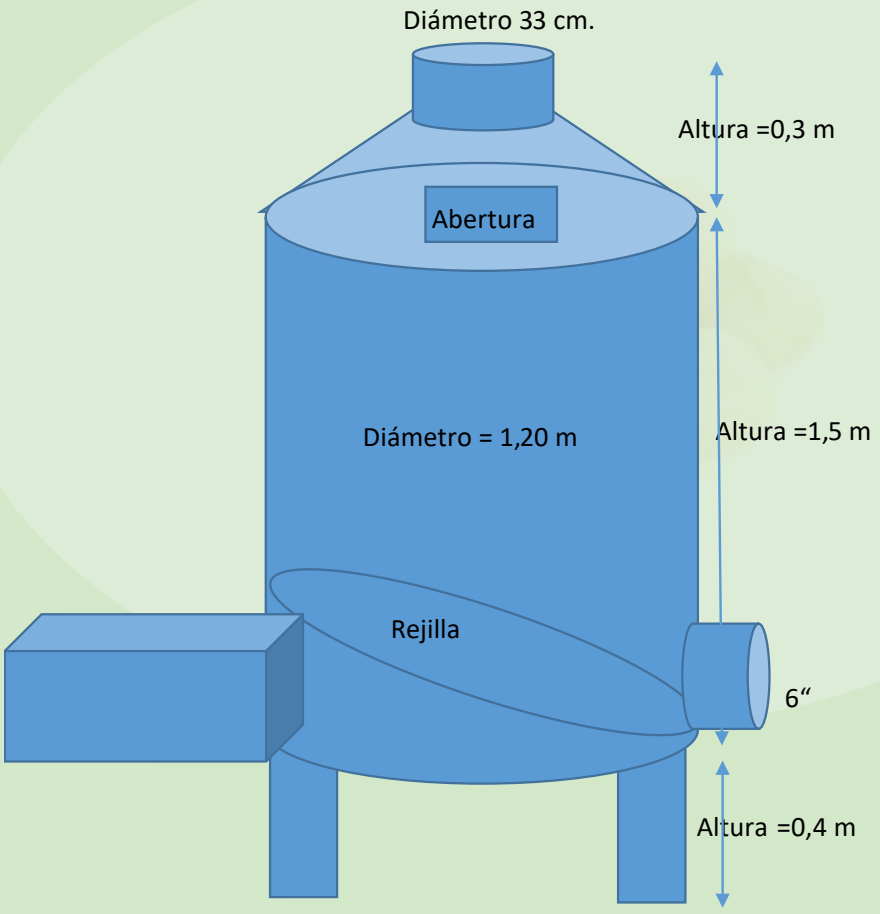


Figura 11. Dimensiones del silo

En la Figura 12 se observa el silo construido en base a los datos anteriores.



Figura 12. Secador tipo silo

En la Figura 13, se observa la parte superior del secadero, la disposición de la abertura por donde se cargan las nueces y el conducto de salida del aire húmedo. La malla inclinada, sobre la cual se colocan las nueces, está montada sobre perfiles de acero en forma de ángulos y sostenidas por varilla de acero, se observa en la Figura 14.



Figura 13. Parte superior del secadero tipo silo con abertura para alimentación



Figura 14. Malla de soporte de las nueces dentro del secadero

Sistema de circulación y calefacción de aire

El sistema consta de un horno quemador de cáscara de macadamia, un intercambiador de calor, y un ventilador. En la Figura 15 se presenta una imagen del equipo construido.



Figura 15. Sistema de circulación y calefacción de aire

Horno de combustión

Está construido en chapa de acero al carbono de 3 mm de espesor, revestido internamente con ladrillos refractarios. Sus dimensiones son 0,65 m de altura y 0,60 m de lado. El hogar del horno, donde se realiza la combustión de la corteza de la nuez, posee una parrilla de hierro fundido, por debajo de la cual se encuentra el cenicero, de donde se retira la ceniza resultante de la combustión.

El horno posee una puerta por donde se introduce el combustible y otra por donde se extrae la ceniza. Internamente se encuentra recubierto con ladrillos refractarios. Por encima del horno se encuentra el intercambiador de calor. Los gases pasan por el interior de los tubos del intercambiador y salen al exterior por la chimenea instalada por encima del mismo. La chimenea es un conducto de chapa de acero, de sección cuadrada de 30 cm de lado y tiene una longitud de 4,50 m.

En la Figura 16 se observa el horno con las paredes internas revestidas de ladrillos refractarios.



Figura 16. Horno de combustión

En la Figura 17 se observa la disposición de los ladrillos refractarios y parte de la parrilla. Se observa además el intercambiador de calor con la abertura que permite la conexión con el ventilador.



Figura 17. Disposición de ladrillos refractarios



Figura 18. Parrilla del horno de combustión

La parrilla del horno se observa en la Figura 18. La misma está construida en hierro fundido y posee ranuras cuyas dimensiones permiten que pasen a través de ellas la ceniza, pero evitan que pasen las cortezas, asegurando así que no haya pérdida del combustible durante la combustión. En total se emplea 6 unidades de 50 cm x 7,5 cm cada uno. Para generar los gases calientes se utiliza la corteza de la nuez (Figura 19), la cual se quema sobre la parrilla. La corteza se introduce en el horno a través de la puerta del hogar.



Figura 19. Corteza de la nueces utilizada como combustible

Intercambiador de calor

En la parte superior del horno se encuentra el intercambiador de calor. El mismo posee 28 tubos aletados de 50 cm de largo y 1 pulgada de diámetro, dispuestos verticalmente. Los tubos están alineados en cuatro filas de siete tubos cada uno. Los gases de combustión (humos), se distribuyen y circulan por el interior de los tubos, antes de ser extraídos por la chimenea. El aire de secado es impulsado por un ventilador centrífugo, y circulan por fuera de los tubos, en dirección perpendicular a los mismos. El aire se calienta debido a la transferencia de calor desde el interior de los tubos al exterior de los mismos.

La conexión entre el ventilador y el intercambiador se realiza mediante una brida. Al separar el ventilador quedan expuestos los tubos aletados, como se observa en la Figura 20. En cada fila, los tubos están separados 10 cm de centro a centro, y de una fila a otra, 14 cm.

NOTAS IMPORTANTES

* Con las pruebas realizadas con el prototipo construido, manteniendo la temperatura del aire a 40°C y caudal de 4.400 m^3/h fueron obtenidos nueces secas en **38 horas,** desde una humedad de 9,4% a 1,8 %.

* Considerando que en el secadero tipo silo que opera a temperatura ambiente con circulación de aire por medio de un ventilador con caudal de 2.100 m^3/hora y motor de 1,5 HP (Figura 21) se logró un secado de las nueces hasta una humedad del **4% en dos meses**, es evidente el beneficio aportado al proceso de industrialización empleando el secadero tipo silo con sistema de circulación y calefacción de aire construido en base a los datos obtenidos en laboratorio.

* Mediante la introducción de esta tecnología se eleva la capacidad de producción empleando un solo silo y se asegura la calidad fisicoquímica y microbiológica de la nuez. La capacidad de producción dependerá del régimen de trabajo, pudiéndose trabajar solo en horario diurno o combinado con horario nocturno, según las necesidades de cada productor y el costo.

* El uso del carozo de la macadamia como combustible para calefacción del aire, aumenta el beneficio, pues se convierte un residuo en un producto con valor agregado.



Figura 20. Tubos aletados

Operación del secadero

Para poner en marcha el secadero se debe realizar los siguientes pasos:

- Se cargan las nueces en el silo (entre 800 y 1000 kg de nueces).
- Se introduce la corteza de la nuez en el hogar del horno, disponiéndolo sobre la parrilla (aproximadamente 4 kg de corteza).
- Para iniciar la combustión se mantiene abierta la puerta del cenicero, de modo que el aire penetre en el mismo, ingrese a través de las ranuras de la parrilla al hogar y se ponga en contacto con el combustible. Es necesario que la cantidad de aire sea la adecuada para que la combustión sea eficiente.
- Una vez iniciada la combustión, debe esperarse que el intercambiador de calor se caliente con los gases del horno. Se acciona el ventilador de modo que el aire circule hacia el secadero y se controla la temperatura mediante el termómetro que se encuentra a la entrada del secadero. La temperatura debe mantenerse aproximadamente a 40 °C para el secado de la primera etapa.
- El combustible debe alimentarse a horno a razón de 8 kg de corteza por hora, aproximadamente (2 kg cada 15 minutos).
- El control del proceso de secado debe realizarse tomando muestras de las nueces del silo y determinando la humedad de las mismas en una balanza termogravimétrica. Por lo general existe una diferencia entre la humedad en el fondo y el tope. Por eso es conveniente realizar la descarga por parte.
- Una vez terminado el proceso de secado, se deja de alimentar el horno con el combustible y luego de cierto tiempo se apaga el ventilador.
- Se extraen las nueces del silo y se lleva a la siguiente operación.





Figura 21. Secadero tipo silo con circulación de aire a temperatura ambiente



Figura 22. Secaderos tipo silo



Figura 23. Sistema de circulación y calefacción de aire para secadero tipo silo

A fin de aumentar aún más la capacidad instalada fueron construidos en total cuatro secaderos con sistema de circulación y calefacción de aire, con la misma capacidad cada uno (Figuras 22 y 23).

Mantenimiento del secadero

Para mantener en condiciones operativas el secadero es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

- Se debe extraer periódicamente las cenizas del cenicero, de modo a mantenerlo limpia.
- Debido a que las ranuras de la parrilla tienden a obturarse con las partículas finas de la corteza de la nuez, se la debe limpiar periódicamente. Esta operación es muy importante para asegurar una buena circulación del aire.
- Al circular los gases de combustión por el interior de los tubos del intercambiador de calor, tienden a depositar partículas sólidas sobre las paredes de los mismos. Debido a ello la velocidad de transferencia de calor disminuye, con lo que disminuirá la eficiencia del secadero. Es muy importante mantener limpio el interior de los tubos. La limpieza puede realizarse raspando las paredes internas de los tubos utilizando un cepillo de acero.
- Se debe controlar las juntas de la brida, evitando que se verifiquen fuga de gases calientes.

Tomando en consideración estos aspectos el secadero funcionará adecuadamente y la operación de secado será eficiente.

Capítulo 5 QUEBRADORA DE NUECES DE MACADAMIA

La NIS cuya almendra ha alcanzado la humedad final requerida es introducida a la quebradora para separar la almendra del carozo. La quebradora empleada en la Planta MACPAR se presenta en la Figura 24. Con la tecnología incorporada (secado + quebradora) se mejoró la eficiencia de la quebradora de 83,3 % a 98,6 %. La cantidad de NIS que no se rompe completamente disminuyó a 1,4%

La separación de la almendra y el carozo se realiza manualmente, la almendra se clasifica conforme a los pedidos existentes y el carozo se destina para combustible en el horno quemador. Realizando una evaluación a la almendra se ha tomado muestras y se ha realizado una clasificación lo cual es presentada en la Figura 25.



Figura 24. Quebradora de NIS de macadamia



Figura 25. Clasificación de almendra

Capítulo 6 ENVASADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA

La modificación del ambiente es una técnica que consiste en cambiar el entorno de un producto con el objeto de prolongar su conservación; la técnica de envasado al vacío suprime principalmente el agente de alteración, el oxígeno; en tanto que el condicionamiento bajo atmósferas modificadas reemplaza el aire por otros gases tales como el nitrógeno y gas carbónico (Kader, A., 1994).

La aplicación de esta técnica permite controlar las reacciones químicas, enzimáticas o microbianas con el fin de reducir o eliminar las principales degradaciones (Bureau, G., 1985).

Vida útil de los alimentos

Los alimentos son perecederos por naturaleza, las condiciones de procesamiento y almacenamiento pueden influenciar adversamente los atributos de calidad (Soto, 2000). La vida útil de un alimento se define como el periodo de tiempo¸ luego del envasado, que el alimento sigue siendo seguro y apropiado para su consumo, en determinadas condiciones de almacenamiento (IFST, 1993). Cada alimento tiene una caducidad microbiológica, una caducidad química, y una caducidad organoléptica, ya que todos los alimentos se estropean a diferentes velocidades.

La degradación de los alimentos, debido principalmente a los procesos de oxidación de lípidos, puede ser controlada mediante el envasado con atmósferas protectoras compuestas por gases como dióxido de carbono, nitrógeno o una mezcla adecuada de estos gases (Ramos & Castaño, 2004), así como el empleo de vacío.

Envasado con atmósfera de anhídrido carbónico (CO_2)

El CO_2 ejerce un efecto inhibidor sobre el crecimiento bacteriano y fungicida, sobre todo aquellos que provocan la pérdida de color y malos olores como las bacterias gram negativas, *Pseudomonas* y otros psicótropos afines que se reproducen velozmente en atmosfera normal. La absorción de CO_2 depende de la humedad y la grasa de los productos, por lo tanto, la mayoría de los alimentos absorben este gas. Además, unas concentraciones elevadas de CO_2 pueden provocar la decoloración y desarrollo de sabores ácidos punzantes. Registra una elevada difusión a través de materiales plásticos.

Envasado con atmósfera de Nitrógeno (N_2)

El nitrógeno, un gas inerte con baja solubilidad en el agua y en grasas, se utiliza fundamentalmente en atmósfera modificada para desplazar y eliminar la máxima cantidad de oxígeno, evita oxidaciones de vitaminas, aromas, color y grasas, inhibiendo bacterias aeróbicas.

Envasado con mezcla de gases

Para aprovechar los beneficios de los diferentes gases, el envasado en atmósfera protectora requiere usualmente una mezcla de al menos dos gases, variándose las proporciones óptimas de un producto a otro. En este caso la proporción de gas será 50% de N_2 y 50% de CO_2.

Envasado al vacío

La aplicación de este tipo de envasado consiste en la extracción total del aire que circunda al producto así el material de envasado se pliega en torno al alimento como resultado del descenso de la presión interna frente a la atmosférica. Dicho material debe presentar una permeabilidad muy baja a los gases, incluido el vapor de agua.

Equipo de envasado

Todos los modelos de envasadoras al vacío en forma de campana tienen la ventaja que son equipos muy sencillos y económicos. Resultan adecuados para producciones bajas o medias-bajas (2-3 ciclos/ min.) y operan en discontinuo. Generan la atmósfera protectora mediante la técnica de vacío compensado y utilizan envases prefabricados como bandejas o bolsas flexibles, con frecuencia, de poco valor añadido. Cada producto en su envase correspondiente se sitúa dentro de una cámara que se cierra de forma hermética. Tras evacuar el aire de su interior con una bomba de vacío se inyecta el gas o gases protectores a través de unas boquillas. Una vez terminada esta fase se sella la película superior a la bandeja o el lado abierto de la bolsa y se corta el material sobrante. Para finalizar, se ventila la cámara y se retiran los envases acabados. Se han desarrollado numerosos diseños de envasadoras de campana: de una sola cámara con distintas dimensiones, de dos cámaras que trabajan simultáneamente (se cargan ambas y generan la atmósfera protectora al mismo tiempo) o alternativamente (cuando una cámara se carga, la otra está operando) (Iglesias E., Gago L. y Fernandez J., 2006).

Las envasadoras de campana son muy fáciles de manejar y, gracias a sus dimensiones compactas, se pueden utilizar prácticamente en cualquier sitio. La parte superior de la campana permite controlar visualmente el proceso de envasado, facilitando enormemente el manejo. Todas las campanas de vacío de sobremesa pueden equiparse con un bastidor inferior móvil. Las envasadoras de campana extraen el aire de una campana hermética, dentro de la cual está introducida la bolsa, e indirectamente extrae el aire de la misma. Este sistema permite la utilización de bolsas lisas en lugar de bolsas estriadas. Hay un sistema diferente a los dos anteriores que permite el uso de bolsas lisas en máquinas de vacío que no sean de campana. Es mediante la utilización de una guía estriada retráctil que se introduce antes de realizar el vacío y se extrae después de terminarlo.

Entre sus características destacan el tamaño reducido, estructura de acero inoxidable, bomba de gran potencia, ventana de cristal de seguridad, bloqueo de tapa, barra de sellado de cambio rápido, placas de relleno, control mediante microprocesador, ventilación progresiva automática, y parada rápida de vacío.

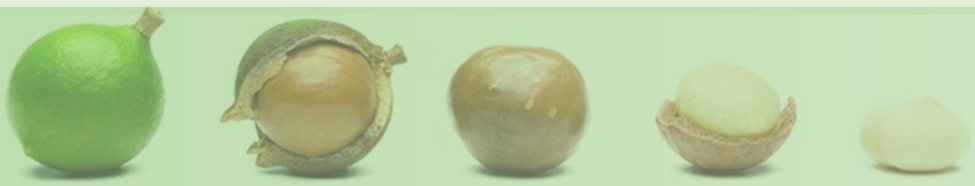




Figura 26. Equipo para envasado utilizado en laboratorio

Material de envasado

Los envases cumplen funciones básicas de contener y proteger al alimento, informar, y atraer a los consumidores. El uso de los envases con las nuevas técnicas de protección ha hecho posible la prolongación de la vida útil de estos alimentos.

Propiedades generales deseables en un envase destinado a alimentos para atmósferas protectoras:

Barrera o de protección: Estos materiales deben preservar el alimento y la atmósfera protectora del ambiente exterior. Ejemplo: Barrera frente a gases, humedad y olores, protección frente a la luz, resistencia a grasas y aceites.

Técnicas: Impuestas por el proceso de envasado, la maquinaria utilizada en él y la manipulación de los envases acabados durante su distribución y venta, tales como: resistencias a fuerzas de fricción y tracción, resistencia frente a impactos, desgarros, perforaciones, resistencia térmica, facilidad de conversión (sellado e impresión), etc.

Comerciales: Presentación atractiva y manipulación sencilla y práctica para el consumidor. Ejemplo: brillo, transparencia, capacidad de activación.

Otras: económicas, legales, y medio ambientales. (Iglesias E., Gago L. y Fernandez J., 2006).

Los envases utilizados en sistemas de envasado al vacío y atmósferas protectoras se realizan con materiales co-extruidos, laminados o metalizados que producen combinaciones multicapas para aprovechar las propiedades individuales y reducir costos. Los materiales empleados generalmente son polietilenos de baja densidad, poliamidas, polipropilenos, cloruro de polivinilo, cloruro de polivinilideno, polietileno tereftalato, etil vinil alcohol, etc. Los co-extruidos están formados por más de un polímero, co-extruidos simultáneamente para formar una lámina multicapa, los laminados son producidos por adición de un sustrato a una matriz polimérica y los metalizados por adición de un

recubrimiento metálico, generalmente polvo de aluminio (Illanes Esparza, 2004).

Los polietilenos son estructuralmente el grupo más simple de polímeros sintéticos, siendo además los materiales plásticos más empleados en el envasado de alimentos. Suelen tener pobres propiedades de barrera para los gases, pero su naturaleza hidrófoba hace que tenga buenas propiedades de barrera para el vapor de agua (Coles et al, 2004).

Las poliamidas son un grupo de plásticos más conocido como nylon. Suelen tener una resistencia fuerte a la tensión, a la punción y a la abrasión. Tienen buenas propiedades de barreras para los gases. Son sensibles a la humedad (hidrófobos) y absorben agua de su alrededor. Bajo condiciones de alta humedad relativa, aumenta el grado de transmisión de gases a través de las películas de nylon (Coles et al, 2004).

Pruebas de envasado en atmosfera protectora en laboratorio

En el laboratorio fueron realizados dos tipos de estudios. En el primero se analizó las características fisicoquímicas y microbiológicas de nueces envasadas en diferentes atmósferas (nitrógeno, anhídrido carbónico, mezcla de nitrógeno: anhídrido carbónico 50:50, al vacío, y con aire, almacenados por un periodo de hasta 6 meses, a 25 ° y humedad relativa de 65%. Vea el flujograma en la Figura 28.

En el segundo estudio, se analizaron las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de nueces envasadas en atmósfera de una mezcla de nitrógeno: anhídrido carbónico 50:50, almacenadas a diferentes temperaturas (35°C, 40°C y 45°C). Vea el flujograma en la Figura 29. El envase seleccionado para el estudio en ambos casos, es un material co-extruido de poliamida, polietileno y polietileno modificado de 0,16 mm de espesor total, dimensiones de 14cm x 25 cm.



Figura 27. Equipo para envasado utilizado en la planta industrial

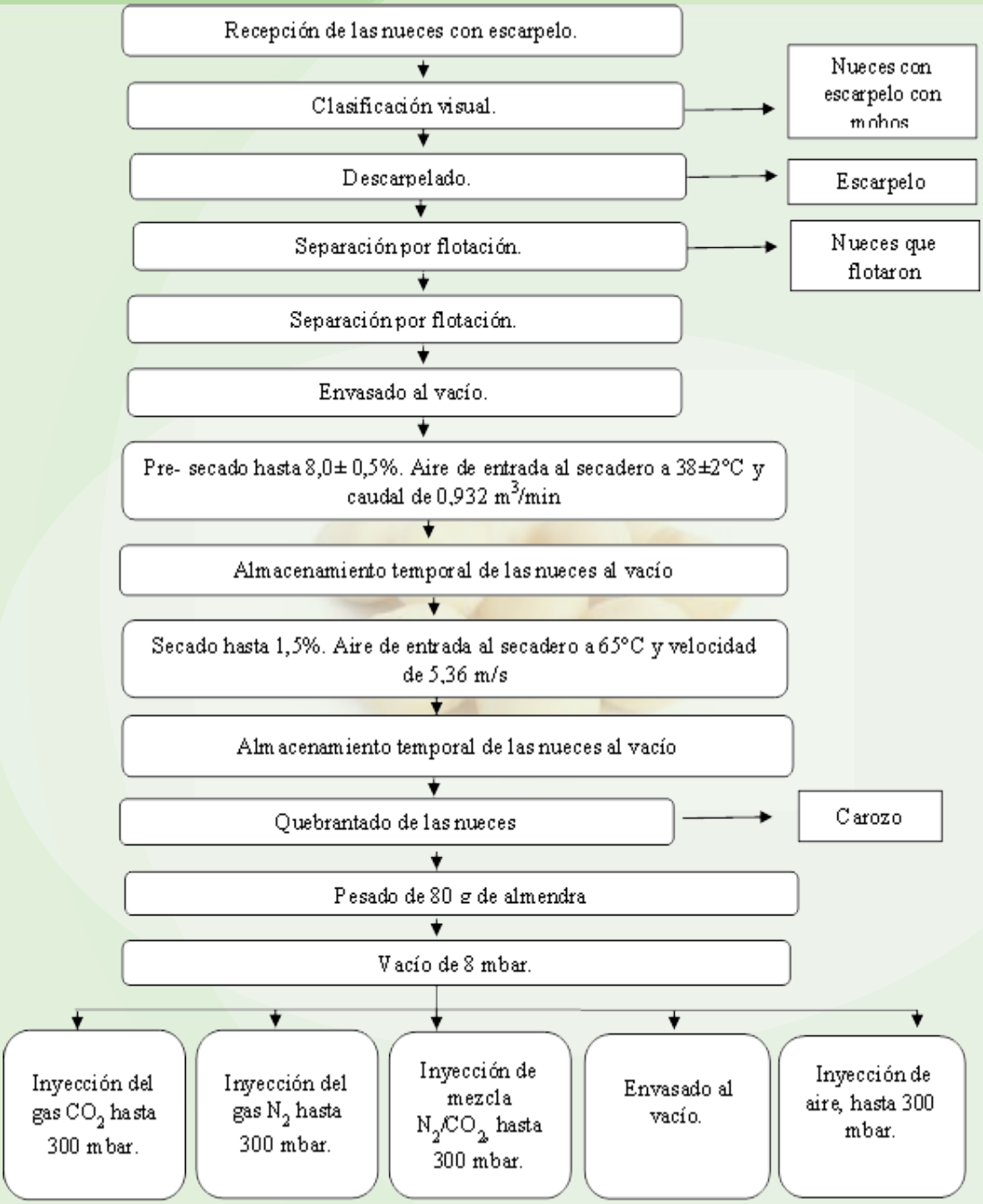


Figura 28. Flujograma de estudio envasado en diferentes atmósferas. (Fuente: Elizaur et al, 2017)

NOTAS IMPORTANTES

* Según los resultados microbiológicos de la comparación de métodos de recolección, se recomienda la instalación de mallas que eviten el contacto de las nueces con el suelo, para no aumentar la carga microbiana de las mismas.

* A los 180 días se demostró que la utilización de atmósfera modificada protege a las almendras contra la rancidez oxidativa, los valores de índice de peróxido y acidez obtenidos se encuentran muy por debajo del límite máximo establecido en la norma paraguaya NP 15 004 15.

* Hasta el día 180, las nueces secas y envasadas a temperatura ambiente (27 a 33°C) se encuentran dentro de las especificaciones de calidad de nueces de macadamia, en cuanto al índice de peróxidos, acidez, recuento de aerobios mesófilos, hongos y levaduras y *Coliformes.*

* *En todos los tipos de atmósfera aplicados* almacenados a temperatura ambiente, a los 180 días, la humedad ha aumentado y superado ligeramente el valor establecido de 1,5 %. Esto podría atribuirse a que el envase no es lo suficientemente impermeable al vapor de agua. Se podría utilizar para productos de rápido consumo, menor a 60 días o almacenar en condiciones controladas de humedad relativa.

* La temperatura de almacenamiento es un factor muy importante. La vida útil estimada de almendras envasadas en CO_2:N_2 (50:50) a temperatura de 35°C es de 325 días, reduciéndose a 217 días a 45 °C.

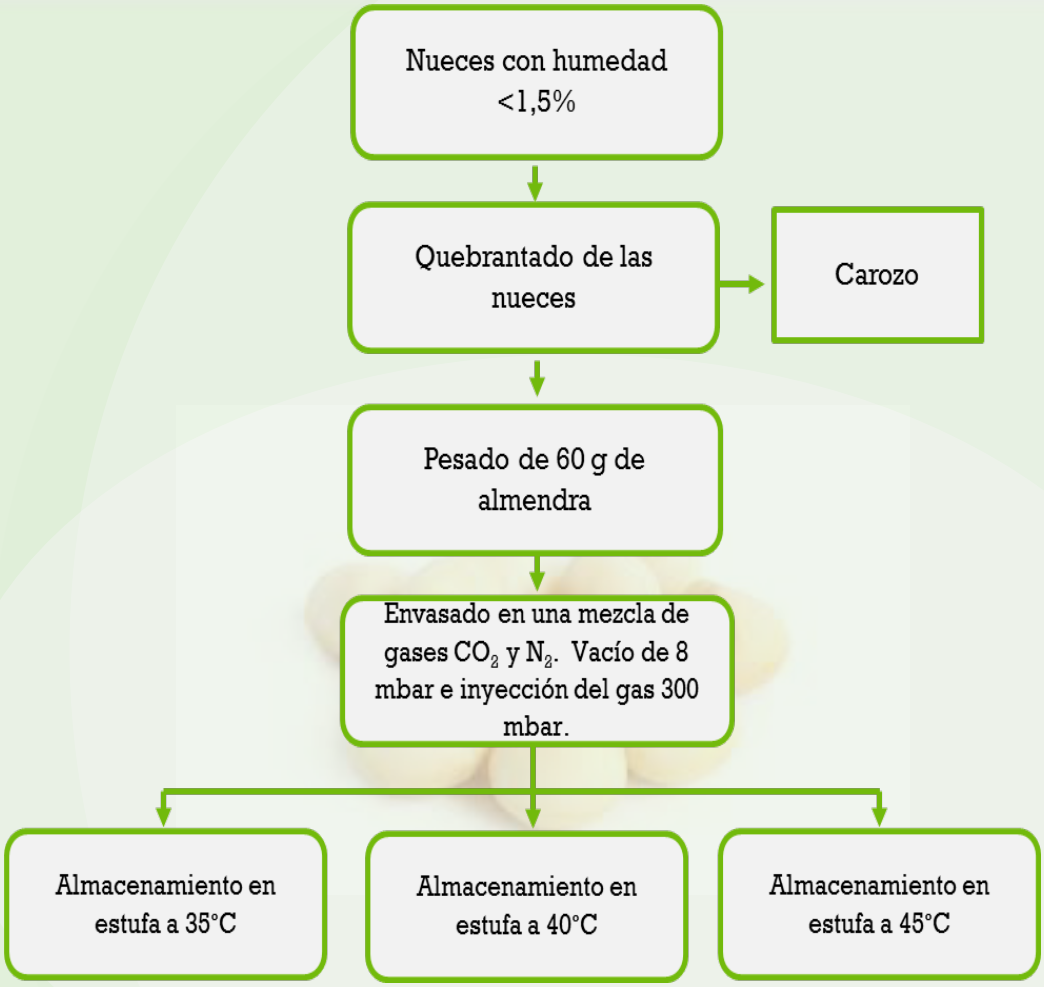


Figura 29. Flujograma de proceso de envasado en atmosfera de nitrógeno: anhídrido carbónico 50:50 (Fuente: Elizaur et al, 2017)

Caracterización Sensorial

Las muestras fueron evaluadas en cabinas individuales bien iluminadas y ambiente climatizado. Las muestras de 3 g fueron servidas a los panelistas en platos codificados. En cada cata se utilizó 30 g de almendras. Para determinación sensorial se seleccionaron 10 panelistas semi entrenados. Vea la Figura 30.

Los resultados del análisis sensorial realizado a 180 días de almacenamiento a temperatura ambiente (entre 27 a 33 grados) y humedad relativa de 42 a 48%, según la percepción de los panelistas se presentan en la Tabla 4.



Figura 30. Análisis sensorial de perfil de sabor y textura

Tabla 4. Características de la nuez almacenada a temperatura ambiente envasada con diferentes atmósferas.

Tipo de envasado	Características de la nuez
Envasado convencional con aire	Sabor ligeramente dulce, moderadamente característico a fruto seco, ligeramente húmedo y acido, fuertemente crocante y duro, moderadamente amargo.
Envasado al vacío	Sabor ligeramente dulce, ligeramente característico a fruto seco, ligeramente húmedo, acidez imperceptible, fuertemente crocante y duro, ligeramente amargo.
Envasado en atmósfera de CO_2	Sabor ligeramente dulce, fuertemente característico a fruto seco, ligeramente húmedo, acidez imperceptible, y de textura ligeramente crocante.
Envasado en atmósfera de N_2	Sabor ligeramente dulce, fuertemente característico a fruto seco, ligeramente húmedo, acidez imperceptible, y de textura ligeramente crocante, amargor imperceptible.
Envasado en atmósfera de CO_2:N_2 (50-50)	Sabor ligeramente dulce, fuertemente característico a fruto seco, acidez imperceptible, de una textura fuertemente dura y muy crocante, amargor imperceptible.
En el envasado convencional en presencia de aire es en la que mayor percepción de amargos se percibe, sin embargo en CO_2 se observa una menor apreciación de dicho atributo.	

Envasado de nueces de macadamia en la planta industrial MACPAR

El envasado se realizó al vacío empleando una envasadora al vacío, marca Henkelman. El envase utilizado son bolsas para sellado al vacío de PET/AL/PE (Polietilen Tereftalato/ Alumnio/Polietileno), 4 mil (115 micrones) de 50 cm x 75 cm.

En la Figura 31 se presentan imágenes del equipo de envasado y en la Figura 32 el producto envasado.



Figura 31. Equipo de envasado al vacío en funcionamiento en la planta industrial de MACPAR



Figura 32. Nueces envasadas al vacío en bolsas PET/AL/PE



Figura 33. Nueces envasadas al vacío embaladas en cajas.

Apéndice: SECADERO PARA NIS DE MACADAMIA:
Especificaciones técnicas y lista de materiales, servicios y equipos

SILO

Chapa negra de 3 mm de espesor

Aislación térmica exterior con membrana de 10 mm de espesor

Parte cilíndrica de 1,20 m y 1,5 m de altura

Rejilla para soporte de material colocado en el interior en forma inclinada (para 1000kg)

Conducto de entrada de aire de 40 x 40 cm, con sistema de unión con intercambiador de calor para aire hasta 60°C

Conducto de descarga de 6 "

Patas de 0,40 m de altura

Parte cónica: diámetro 1,20 m y 0,30 m de altura, conducto de salida de aire de 33 cm (codo y cañería si es necesario.)

La parte cilíndrica y la parte cónica deben ser desmontable, con sistema de junta para cierre hermético

HORNO QUEMADOR DE CÁSCARA DE MACADAMIA

Carcaza de metal de 60 cm x 60 cm y 1 m de altura, de los cuales 0,8 m para cámara de combustión y 20 cm para cenicero, revestido internamente con ladrillo refractario

Parrilla de hierro fundido de 50 cm x 50 cm x 10 cm de espesor, con abertura para carozo

Chimenea de 6 m de altura de 30 cm x 30 cm

INTERCAMBIADOR DE CALOR

Carcaza de metal de 4 mm, de 60 cm x 60 cm x 50 cm de alto

Conducto de entrada de aire con empalme con carcaza de ventilador y salida de empalme con secadero

Instalación de 32 tubos aletados de 1"

Medidor de temperatura con sensor y tablero digital

Sistema de alarma para alerta de temperatura máxima permisible

Medidor de caudal de aire con lectura digital para velocidades hasta 20 m/s

LISTA DE MATERIALES, SERVICIOS, Y EQUIPOS DE CONTROL PARA EL SECADERO

Chapa SAE 1006, de 3 mm x 1500 mm x 6000 mm	3
Chapa de 6 mm x 1000 mm x 2000 mm	1
Angulo de 1 1/4" x 1/8" x 6000 mm	1
Planchuela de de 1 1/4"x 3/16" x 6000 mm	1
Chapa N° 20, 1200 mm x 3000 mm	2
Servicio de cilindrado, corte y plegado	8
Chapa perforada de 1,2 mm de espesor, 100 mm x 200 mm	1
Electrodos (kg)	11
Pintura antióxido 3,6 L	2
Espuma aisladora aluminizada de 10 mm x 20000 mm x 100 mm	1
Discos de corte	5
Discos de pulido	5
Parrilla de hierro fundido 7 cm x 50 cm x 10 cm	6
Ladrillo refractario 3,5 x 10 cm x 20 cm (unidades)	135
Klaucol x 10 kg	1
Adhesivo x 3,6 L	1
Ventilador centrífugo con motor eléctrico de 4 HP (caudal - 4.400 m^3/h)	1
Servicio de construcción de secadero, horno, intercambiador de calor , reparación de turbina	1
Sonda PTC100 de 3 m. Rango de -50 a 250°C. IP65	1
Termostato con 2 entradas universales, salida analógica de 0 -10 V y salida de relé	1
Tablero, conexiones e insumos varios	1
Medidor de Flujo de Aire y Temperatura con display. Rango de medición de 0 a 20 m/s, y salida 4..20 mA. Montaje ajustable de 50 mm a 190 mm.	1

Referencias

Boletín informativo AMS, 1995. Estándares recomendados para el muestreo y evaluación de la nuez en concha. Septiembre.

Boletín informativo MACMIR. 1996. Macadamia Miravalles S. A. N° 1, Año 1 abril, 4.

BOWEN, J. 1991. Agricultura de las Américas (sep.– oct.). p 30 – 36.

CADOGAN, C. 2013. MANUAL DE COSECHA Y POSTCOSECHA Macadamia sp. mcg-paraguay. com/spanish/Cosecha%20y%20post%20cosecha.pdf. Consultado en diciembre 2017.

CARDOZO, J.J.; RUIZ DÍAZ QUIÑONEZ, R.M. 2015. Evaluación de la influencia del secado por combinación de métodos microondas-estufa y el envasado en atmósfera protectora sobre los índices de peróxidos y de acidez de las nueces de Macadamia Integrifolia. Tesis para optar por el título de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo.

CARVAJAL, J.M.; BEDOYA, D.F. 2010. Estudio físico-químico y de estabilidad del aceite de nuez de macadamia tetraphylla cultivada en la región cafetera de Colombia. Tesis (Ing. Quím.). Escuela de Tecnología Química, Universidad Tecnología de Pereira. Colombia. 85 p.

CASP, A., APRIL, J. 2003. Procesos de Conservación de Alimentos. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.

COLES, R.; MC DOWELL, D.; KIRWAN, M. J.; 2004. Manual del envasado alimentos y bebidas. Primera edición. España.

CURIA, A.; FISZMAN, S.; GÁMBARO GARCÍA, A.; GARITTA, L.; GÓMEZ MELIS, G & HOUGH, G. 2005. Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. (G. Hough, & S. Fiszman, Edits.) Madrid, España: Programa CYTED.

DALPASQUALE, V. A.; MARCAL, Q. D.; MARQUEZ, J.; SINICIO, R. 1991. Secados de granos natural, solar y bajas temperaturas. Santiago, Chile: FAO.

ELIZAUR, A. 2017. Evaluación del secado y estimación de vida útil en función de la temperatura de almacenamiento de las nueces de Macadamia integrifolia envasadas en atmósfera protectora. Tesis para optar por el título de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo.

ELIZAUR, A.; RESQUÍN, V. 2017. Evaluación fisicoquímica y microbiológica poscosecha e influencia del envasado en atmósfera protectora sobre la calidad de nueces de Macadamia integrifolia. Tesis para optar por el título de Lic. en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo.

FRASER, A. 2010. Peligros de origen microbiano. Food Safety 5-9.

GARCÍA I. E.; GAGO C., L.; FERNÁNDEZ N., J.L. 2006. Tecnologías de envasado en atmósfera protectora. Madrid, ES: Dirección Nacional de Universidades e Investigación. 143 p.

GARCÍA, C.; MOLINA, M. 2008. Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. San José, Costa Rica.

GORDON, R. L. 1993. Food Packaging: Principles and Practices. New York: Marcel Dekker.

IFST. 1993. Shelf life of food- Guidelines for its determination and prediction. Institute of Food Science & Technology. London.

ILLANEZ ESPARZA, J. 2004. Envases flexibles plásticos: Usos en la industria alimenticia. Tesis para optar por el título de Ingeniería en Alimentos. Universidad Austral de Chile.

KILCAST, D.; SUBRAMANIAN, P. 2000. The Stability and Shelf-life of Foods. Washington, DC: Woodhead Publishing Limited & CRC Press LLC.

LABUZA, T. P; SCHMIDL, M. K. 1985. Accelerated Shelf-life Testing of Foods. Food Technology, 39: 57-64.

LABUZA, T., & FU, B. 1997. Shelf-life Testing: Procedures and Prediction Methods for Frozen Foods. Denver: CRC Press.

MACADAMIA INDUSTRY QUALITY ASSURANCE HANDBOOK. 1993. Tzaneen, South Africa: Southern African Macadamia Growers' Association, p. 49-53.

MACIEL, A. M; SARUBBI, P. A. 2016. Secado al vacío y envasado en atmósfera protectora de la nuez de macadamia (M. Integrifolia). San Lorenzo. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Asunción.

PAREDES, A. M., SATOF, A., 2016. Efecto del secado en silo con circulación forzada de aire sobre la rapidez desecado y los parámetros de calidad de las nueces de Macadamia integrifolia. San Lorenzo. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Asunción.

PÉREZ, D. 1996. Tratamiento postcosecha de la macadamia. Turrialba, C. R.: Macadamia de C. R., septiembre.

QUINTAS, G. 2011. Manual técnico para productores de nuez de macadamia. México.

REMBADO, M.; SCENI, P. 2009. La química de los alimentos. Primera Edición. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Educación de la Nación. 146 p

ROTSTEIN, E.; VALENTAS, K. J.; Singh, R. P. 1997. Handbook of Food Engineering Practice. Boca Raton: CRC Press LLC.

SOTO, R. 2000. El uso de antioxidantes como protectores de la calidad en productos alimenticios. Industria y Alimentos, 47- 51.

UNECE STANDARD DDP-22. Inshell macadamia nuts. New York and Geneva. Noviembre, 2010.

UNECE STANDARD DDP-23. Macadamia kernels. New York and Geneva. Noviembre, 2010.

VARGAS E., G. A. 1999. Análisis Postcosecha y Procesamiento de la nuez en concha de macadamia (Macadamia Integrifolia) en región tropical húmeda de Costa Rica. Tesis (Lic. en Ing. Agric.). Universidad de Costa Rica. San José. 142 p.

VÍQUEZ DE MONGUE, F & ARIAS, L. 1994. El cultivo de la macadamia en Costa Rica, aspectos agroindustriales y de comercialización. Centro de investigación en tecnología e los alimentos, Costa Rica. 164p.

WALFORTH H.; RÍOS C. 2006. El cultivo de la macadamia. Del Alba S.A.


RESULTADOS
07 07 2017
07 07 2017

GOBIERNO NACIONAL

PROCIENCIA

AGRADECIMIENTOS:
Este proyecto fue financiado por CONACYT
a través del Programa PROCIENCIA
con recursos del Fondo para la Excelencia de la Educación e Investigación -
FEEI del FONACIDE.

CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) - www.conacyt.gov.py SEDE 1: Dr. Justo Prieto N° 223 entre Teófilo del Puerto y Nicolás Billof, Villa Aurelia. Telefax: +(595-21) 506 223 / 506 331 / 506 369. Código Postal 1867 SEDE 2: Dr. Bernardino Caballero Nº 1240 entre Eusebio Lillo y Teniente Vera, Barrio Herrera. Telefax: +(595-21) 606 774 .