



16
29

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**EVALUACION EXPERIMENTAL DE LAS MOLIENDAS
CONVENCIONAL Y CRIOGENICA APLICADAS A
CUATRO ESPECIAS COMERCIALES.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
ADALBERTO SALAZAR CAPETILLO

ASESORES: I. A. ALFREDO ALVAREZ CARDENAS
I. A. ROSALIA MELENDEZ PEREZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2606 73
1998.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Evaluación experimental de las moliendas convencional
y criogénica aplicadas a cuatro especias comerciales."

que presenta el pasante: Adalberto Salazar Capetillo
con número de cuenta: 8715571 - 2 para obtener el TITULO de:
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlan izcalli, Edo. de Méx., a 17 de Noviembre de 1997

PRESIDENTE

I.B.Q. Fernando Beristain

VOCAL

I.B.Q. Jaime Flores Minutti

SECRETARIO

I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas

PRIMER SUPLENTE

I.A. Ediltrudis Estrada Lucas

SEGUNDO SUPLENTE

I.A. Laura M. Cortazar Figueroa

**Con todo cariño para mi familia,
para los que se fueron,
para los que están y
para los que vienen.**

***Mis más sinceros agradecimientos a
las compañías que prestaron su
ayuda para la realización de
esta investigación:***

CONDIMENTOS NATURALES TRES VILLAS S. A. DE C. V.

PRAXAIR MÉXICO S. A. DE C. V.

INDICE

	PAGINA
Introduccion	1
CAPITULO 1. Antecedentes	7
1.1. Las especias	20
1.1.1. Definición de especia	24
1.1.2. Semilla de apio	25
1.1.3. Especificaciones de la semilla de apio molida	28
1.1.4. Canela	31
1.1.5. Especificaciones de la canela molida	37
1.1.6. Semilla de cilantro	40
1.1.7. Especificaciones de semilla de cilantro molida	42
1.1.8. Nuez moscada	45
1.1.9. Especificaciones de nuez moscada molida	47

1.2. El proceso de molienda	50
1.2.1. Tamizado	61
1.3. Molienda y criomolienda de especias	68
1.3.1. Criomolienda con nitrógeno líquido	74
1.3.2. Criomolienda con bióxido de carbono sólido	76
CAPITULO 2 Metodología	
Cuadro Metodológico	79
Descripción de la metodología	80
2.1. Objetivo General	81
2.2. Objetivo particular 1	82
2.2.1. Actividad 1.1. Caracterización de la muestra	82
2.2.2. Actividad 1.2. Caracterización del método de congelación con CO ₂ S	83
2.2.3. Actividad 1.3. Molienda conveNcional	85
2.2.4. Actividad 1.4. Molienda criogénica	90

	PAGINA
2.3. Objetivo particular 2	92
2.3.1. Actividad 2.1. Análisis de distribución de partículas	93
2.3.2. Actividad 2.2. Concentración de aceites volátiles	95
2.3.3. Actividad 2.3. Retención de humedad	98
2.4. Tratamiento estadístico	101
CAPITULO 3. Análisis y comparación de resultados	103
3.1. Determinación de las relaciones de CO ₂ s-especia para criomolienda	103
3.2. Distribución de tamaño de partícula de las especias molidas y criomolidas	112
3.3. Análisis de contenido de aceites volátiles	122
3.4. Análisis de contenido de humedad	124
CONCLUSIONES	128

OBSERVACIONES	131
RECOMENDACIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	134

INDICE DE CUADROS

PAGINA

CUADRO 1	Especificaciones sensoriales para semilla de apio molida	29
CUADRO 2	Especificaciones fisicoquímicas para semilla de apio molida	29
CUADRO 3	Tamaño de partícula para semilla de apio molida	30
CUADRO 4	Especificaciones microbiológicas para semilla de apio molida	30
CUADRO 5	Especificaciones de manejo para la semilla de apio molida	31
CUADRO 6	Especificaciones sensoriales para canela molida	38
CUADRO 7	Especificaciones fisicoquímicas para canela molida	38
CUADRO 8	Tamaño de partícula para canela molida	39
CUADRO 9	Especificaciones microbiológicas para canela molida	39
CUADRO 10	Especificaciones de manejo para la canela molida	40
CUADRO 11	Especificaciones sensoriales para semilla de cilantro molida	43
CUADRO 12	Especificaciones fisicoquímicas para semilla de cilantro molida	43
CUADRO 13	Tamaño de partícula para semilla de cilantro molida	43
CUADRO 14	Especificaciones microbiológicas para semilla de cilantro molida	44
CUADRO 15	Especificaciones de manejo para la semilla de cilantro molida	44
CUADRO 16	Especificaciones sensoriales para nuez moscada molida	48
CUADRO 17	Especificaciones fisicoquímicas para nuez moscada molida	48
CUADRO 18	Tamaño de partícula para nuez moscada molida	49
CUADRO 19	Especificaciones microbiológicas para nuez moscada molida	49

CUADRO 20	Especificaciones de manejo para la nuez moscada molida	50
CUADRO 21	Clasificación de molinos por su tipo de fuerza y principio	52
CUADRO 22	Serie de tamices Tyler usados para esta investigación	64
CUADRO 23	Temperaturas propuestas para la criomolienda de las especias seleccionadas según su contenido graso	85
CUADRO 24	Relaciones de CO ₂ S-especia para la criomolienda	91
CUADRO 25	Pendientes para el enfriamiento de la semilla de apio	105
CUADRO 26	Pendientes para el enfriamiento de la canela	107
CUADRO 27	Pendientes para el enfriamiento de la semilla de cilantro	109
CUADRO 28	Pendientes para el enfriamiento de la nuez moscada	111
CUADRO 29	Porcentajes de rendimiento para las especias molidas y criomolidas	119
CUADRO 30	Resultados promedio del contenido de aceite volátil, para las especias analizadas	122
CUADRO 31	Resultados de Análisis de Varianza de dos factores con una sola muestra, para determinación de aceites volátiles	123
CUADRO 32	Resultados promedio del porcentaje de humedad de las especias analizadas	125
CUADRO 33	Resultados de Análisis de Varianza de dos factores con una sola muestra para determinación de humedad	126

INDICE DE FIGURAS	PAGINAS
FIGURA 1 Rodillos trituradores	53
FIGURA 2 Molino de martillos	56
FIGURA 3 Molino de disco sencillo	58
FIGURA 4 Molino de disco doble	59
FIGURA 5 Molino de piedras	60
FIGURA 6 Agitador mecánico Ro-Tap	66
FIGURA 7 Molino piloto de martillos	86
FIGURA 8 Molino piloto de martillos	87
FIGURA 9 Equipo para determinar humedad	101
FIGURA 10 Relaciones de CO ₂ S para el enfriamiento de la semilla de apio	104
FIGURA 11 Relaciones de CO ₂ S para el enfriamiento de la canela	106
FIGURA 12 Relaciones de CO ₂ S para el enfriamiento de la semilla de cilantro	108
FIGURA 13 Relaciones de CO ₂ S para el enfriamiento de la nuez moscada	110
FIGURA 14 Distribución de tamaño de partícula para el apio molido y criomolido	113

FIGURA 15	Distribución de tamaño de partícula para la canela molida y criomolida	115
FIGURA 16	Distribución de tamaño de partícula para la semilla de cilantro molida y criomolida	116
FIGURA 17	Distribución de tamaño de partícula para la nuez moscada molida y criomolida	117
FIGURA 18	Consumos energéticos para la molienda y criomolienda de las especias analizadas	121

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen innumerables métodos de transformación de los alimentos, para deshidratarlos, fermentarlos, congelarlos, etc. y todos estos procesos tienen un mismo fin, que es el obtener un producto de buenas características que aporte lo mejor de la materia prima al consumidor. En muchas operaciones de la industrialización de los alimentos suele ser una necesidad frecuente pulverizar los sólidos mediante la aplicación de fuerzas mecánicas. Las razones para esta reducción de tamaño son diversas:

- La reducción de tamaño puede facilitar la extracción de un constituyente deseado, contenido en una estructura compuesta, como sucede por ejemplo, en la obtención de harina a partir de granos de trigo o jarabe a partir de la caña de azúcar.

- Una disminución del tamaño de la partícula de una masa del producto sólido conduce a un aumento en la superficie que sirve de ayuda en muchos procesos en cuanto a velocidad de operación, por

ejemplo en la reducción del tiempo de secado de los sólidos húmedos, la velocidad de extracción de un soluto deseado crece al aumentar el área de contacto entre el sólido y el soluto, el mezclado de los ingredientes en los alimentos preparados se facilita enormemente.

- La reducción a un tamaño definido puede ser una necesidad específica del producto, como sucede, por ejemplo en la elaboración del azúcar para helados, en el refinado del chocolate y en la preparación de especias.

- La pulverización de sólidos alimenticios también repercute en cuanto a su manejo ya que facilita su transporte y envase al hacerlos más fluidos.

Como ya se mencionó, para reducir el tamaño de partícula de un material, se emplean fuerzas mecánicas sobre éste, y al aplicarlas, se produce calor que afecta diversos componentes de la materia prima, teniendo repercusión directa sobre el sabor y el olor del producto. Existen diversas formas para compensar este fenómeno, con el fin de conservar la

calidad inicial del alimento. Se han aplicado diversos tratamientos para disminuir la temperatura durante el proceso, obteniendo una reducción mínima de calor en molinos convencionales. Recientemente la aplicación de criogenia en este proceso ha significado una retención total de los componentes iniciales en el producto final, ya que al trabajar en condiciones por abajo de cero grados centígrados, se compensan las pérdidas por calor.³

Por definición, la criogenia se refiere a uno de los métodos de la producción de frío, y por lo regular se piensa que solo serviría para la conservación de alimentos, sin embargo la criogenia tiene actualmente muchas aplicaciones en la industria en general, y en el presente trabajo se abordará una de ellos, la criomolienda.

Al disminuir el calor durante la operación, además de obtener un mejor producto, se ofrecen diferentes ventajas que ayudan a mejorar las condiciones de proceso, ya que al estar congelado el producto, se facilita su rompimiento, mejorando así su olor, sabor, fluidez, etc.

Por otra parte el sistema criogénico por sus características va dirigido hacia alimentos que por su alto valor en el mercado, hacen conveniente invertir en ellos, para mejorar su calidad. Un buen ejemplo son las especias ya que en ellas la pulverización es esencial para su presentación final, es decir, mientras mejor sea la molienda, mejores serán los productos.

Las especias, aunque no tienen valor nutritivo, todas ellas proveen en pequeñas cantidades en los alimentos, de sabor, olor y/o color. A muchas especias se les atribuyen propiedades medicinales. Las especias se utilizan en la preparación de comidas ya sea en frío o en caliente, para resaltar el sabor de las mismas, por ésto se les conoce como condimentos.

Las especias se usaron por siglos como conservadores en los alimentos, de hecho la palabra condimento proviene del latín *condire* que significa " para conservar". Su función como conservadores declinó con los nuevos métodos como la refrigeración ó la congelación, aunque su empleo para mejorar la presentación de la comida no se ha perdido. 17

Cuando se muelen las especias presentan diversos problemas, como son:

- Algunas de ellas por su alto contenido en grasa, al reducir de tamaño, forman una torta que impide que la molienda se lleve a cabo efectivamente al obturar el equipo.

- Otras especias son tan duras que necesitan varias molidas para obtener un producto aceptable.

- En las especias, el contenido de aceites volátiles es muy importante, y sus componentes se pueden ver afectados por el calor producido por el trabajo al molerlas.

La criomolienda ofrece disminuir estos problemas, por lo tanto es importante el conocerla y aplicarla en un momento dado, y para esto se realizó el presente trabajo que se fundamentará en la trituración criogénica y convencional de cuatro especias :

- SEMILLA DE APIO
- CANELA
- SEMILLA DE CILANTRO
- NUEZ MOSCADA

Las especias fueron seleccionada por su alto contenido en grasa (nuez moscada y semilla de apio) y por la necesidad de agilizar y mejorar su producción (canela y semilla de cilantro) principalmente.

Con el estudio planteado se evaluarán los resultados de la criomolienda al contrastarla con el método de molienda tradicional, con el fin de sentar las bases que nos permitan el afirmar que la molienda criogénica tiene ventajas sobre la molienda convencional y que por lo tanto es una alternativa para mejorar el proceso y aumentar la calidad comercial de los productos.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

Desde tiempos remotos en la historia del hombre, los alimentos se han reducido de tamaño para facilitar su consumo. Luego con la invención de las harinas, la molienda fue formalizada como tal y en un esfuerzo por mejorar la calidad de los productos se ha establecido como objetivo el obtener partículas pequeñas que mantengan su sabor original. En los procesos normales de reducción de tamaño se produce calor por la fricción durante la molienda, y este calor disminuye la calidad del producto cuando provoca una pérdida de sabor y de aroma entre otros. Se han propuesto varios sistemas de enfriamiento que reduzcan la presencia de este calor con el fin de mantener la calidad del producto, como circulación de aire, agua fría, etc. recientemente se ha propuesto la introducción de la congelación criogénica con líquidos criogénicos como el nitrógeno líquido que llega hasta -195°C (-320°F) en el proceso de

criomolienda y con esta temperatura extremadamente baja compensa por mucho, el calor generado en el molino. 3

El proceso de criomolienda es novedoso en México y en los demás países, como por ejemplo la Compañía Aleading Midwestern produce especias criomolidas desde 1982, teniendo desde ese entonces un extraordinario desarrollo en el mercado de alimentos procesados que demandan alta calidad, óptimos niveles de aroma y sabor, así como una larga vida de anaquel para estos ingredientes alimenticios.

Las investigaciones acerca de la molienda a baja temperatura o criomolienda de granos y otros productos agrícolas tienen dos razones primordiales que son para establecer un desarrollo en:

1) Un proceso de producción que acelere la extracción y transformación de los ingredientes específicos en un alimento como el almidón ó alguna proteína por ejemplo, que sea capaz de disminuir la desactivación térmica de los nutrientes esenciales como las vitaminas.

2) Un proceso de molienda de alta eficiencia. Controlando la congelación criogénica para inducir a una fragilización de los materiales a moler haciendo que sean más susceptibles a fracturarse 3.

Las ventajas de las especias molidas criogénicamente sobre las molidas convencionalmente son diversas. Las especias crioprocesadas tienen un balance más natural de componentes volátiles de sabor y aromáticos. Observaciones preliminares realizadas por laboratorios independientes, indican que las características sensoriales son muy diferentes entre cada tipo de las especias. Las aplicaciones más recientes en productos comerciales, demuestran que las especias naturales procesadas criogénicamente, aumentan su sabor y proveen al alimento que se les adicionó de una mejor calidad al mejorar sus características organolépticas sin alterar la formulación original del alimento.

Se concluye entonces que la molienda fina usando esta técnica da como resultado un producto que proporciona una buena degustación y por lo tanto es posible disminuir la cantidad de la especia al emplearla como ingrediente y obtener los mismos resultados, reduciendo costos de esta forma. Esto es en base a los criterios de preparación que se tengan

para la elaboración del alimento, o sea que se puede comparar el efecto de una especia criomolida contra una molida convencionalmente (con las mismas condiciones exceptuando la temperatura), por sus características de sabor y definir si conviene disminuir la cantidad o no, ya que las especias molidas criogénicamente retienen más aroma y sabor. s

Los componentes responsables de las características organolépticas de cada especia son los aceites volátiles, con este nombre se conoce el líquido oleoso volátil, generalmente insaponificable que se obtiene de las diferentes partes de una planta (hojas, raíces, flores, semillas y frutos) por algún método de extracción. Estan constituidos por una mezcla muy compleja de compuestos, principalmente terpenos, alcoholes, cetonas, fenoles, ácidos, aldehídos y ésteres.

La composición de los aceites volátiles y sus propiedades sensoriales varían en una misma planta; por ejemplo, el árbol del naranjo tiene aceites esenciales en sus flores (aceite de azahar), en sus vástagos y hojas nuevas aceite de *petit-grain* asi como en la cáscara de fruto; cada uno de ellos tiene un aroma propio y una composición diferente.

No se conoce exactamente la función biológica del aceite esencial en el vegetal. Algunos investigadores consideran que sólo es un subproducto propio del metabolismo de la planta y que no tiene ninguna actividad o funcionalidad particular; sin embargo otros suponen que el de las hojas y las flores sirve para atraer a los insectos y así favorecer la polinización o que actúa como repelente contra depredadores naturales.¹

De los componentes de los aceites volátiles, no hay sustancias tan profusamente repartidas en todos los vegetales, como los terpenos. Se han dedicado concienzudos estudios a la identificación de los terpenos, ya que los terpenos volátiles pueden predominar en el aire justo encima de los alimentos. se ha visto que los terpenos son múltiplos de cinco átomos de carbono, de " unidades de isopreno " generalmente ordenadas siguiendo una " regla isoprénica " para dar terpenos (C_{10}) o sesquiterpenos del latín *sesqui* que significa uno y medio (C_{15}). El interés de los investigadores por la estructura isoprénica se debe a su valor como predicción para establecer la de compuestos cuya composición microquímica es muy poco conocida. Las cantidades tan pequeñas que suelen aislarse de estos productos, excluyen la posibilidad de aplicar técnicas para determinar la estructura química. Los expertos en degustación han intentado seguir la

formación natural de los terpenos, ya que si se conocieran estos procesos, sería posible controlar el gusto de los alimentos. 13

En una investigación al respecto (Rice 1984), se hace mención de los estudios dirigidos a la comparación de la retención y estabilidad de varios componentes en especias molidas criogénicamente y a temperatura ambiente.

Este estudio era para la producción de especias molidas criogénicamente para su uso industrial y en alimentos en general. Para esta investigación se utilizaron muestras de 500 lb de las siguientes especias: comino, canela, nuez moscada, orégano y pimienta blanca. Las muestras se molieron a temperatura ambiente y criogénicamente (con una temperatura de acuerdo a su contenido de grasa).

Se incluyeron métodos de medición de agentes volátiles como el análisis de columna de gases, análisis de extractos etéreos, determinación de aceites volátiles evaporados y análisis sensoriales de olor y sabor por panel.

Los métodos varían en cuanto a su sensibilidad para determinar la diferencia en la concentración de aceites volátiles en muestras molidas y las criomolidas. Por ejemplo, los análisis estadísticos de aceites volátiles evaporados, muestran que en el comino es poca la diferencia en el contenido de aceites totales, pero hubo una diferencia marcada en lo que se refiere al sabor en la prueba de panel.

Lo resaltante de la investigación , según el Dr. Ricardo Alvarez, Director de Control de Calidad de Tone's Brothers Inc., la empresa responsable del estudio en el Estado de Iowa (Duxbury 1991), es que los investigadores identificaron los componentes individuales de los aceites volátiles en las especias. El puntualizó que, aunque no haya una diferencia marcada en el contenido total de aceite entre los productos de la molienda convencional y la criomolienda, los componentes individuales de los aceites son los que determinan una drástica diferencia para el sabor de las especias obtenidas de ambos métodos.

Para su segunda fase el estudio se enfocó hacia la mejor manera de obtener el extracto de las especias molidas y analizarlo por cromatografía de gases, para determinar la calidad de las especias.

El equipo de investigadores continuó con los análisis sensoriales, la extracción de éter, y los métodos de cuantificación de vaporización de aceites volátiles según las técnicas recomendadas por la American Spice Trade Association (ASTA) para establecer la calidad de las especias, además de retener mejor los componentes volátiles encargados del sabor y el aroma, las especias criomolidas presentan varias cualidades en beneficio de los procesadores de alimentos. El incremento de sabor ofrece una reducción de costos porque se puede disminuir su cantidad para la preparación de formulaciones tradicionales para preparar platillos.

Al triturar criogénicamente los alimentos, se puede tener un control más exacto sobre su consistencia al regular la temperatura durante la operación. Además, la extremadamente baja temperatura, contribuye también a la reducción en el desarrollo de la carga microbiana en el molino y en el producto final.

La molienda criogénica reduce la susceptibilidad de oxidación de los aceites de las especias , ya que las sustancias criogénicas empleadas, al evaporarse, despejan el aire del interior del molino. También la baja temperatura ayuda a la más fácil reducción de tamaño de las especias al fragilizarlas, incrementando el sabor de las mismas con la misma fuerza y tiempo de procesado que la molienda convencional. 21

Durante la molienda criogénica y tradicional de especias se ha observado que las especias criomolidas son de color más brillante que su contraparte molidas a temperatura ambiente 20. Teóricamente esta observación es razonable considerando las altas temperaturas alcanzadas durante la molienda convencional (Arriba de 93° C para molienda convencional contra -73° C en la criomolienda, Pesek 1985), las temperaturas altas aceleran la oxidación y las reacciones de oscurecimiento.

Como las especias tradicionalmente son usadas para dar color y/o sabor a los alimentos, cualquier cambio en las características de la especia debido a la trituration , las condiciones de empaque, de almacenamiento, etcétera; influyen directamente sobre la aceptación del consumidor hacia estas especias y los alimentos que las contengan. 19

En resumen, la molienda de especias bajo condiciones criogénicas, nos introducen a un proceso donde se ven disminuidas las distorsiones en la composición natural durante la molienda convencional. Pruthi (Pesek 1985) reportó las siguientes ventajas de la molienda criogénica de especias:

i. El molido criogénico reduce la oxidación de aceites volátiles de las especias e incrementa la estabilidad del producto.

ii. Se obtiene un tamaño de partícula mas fino ya que, por las bajas temperaturas las especias se fracturan con mayor facilidad.

ii.i. La dispersión del producto en los alimentos es más uniforme y proporciona mejor sabor.

ii.ii. Se reduce la presencia de manchas visuales al tener un color más uniforme.

ii.iii. Se disminuye la velocidad de sedimentación en preparaciones líquidas con el producto.

iii. Los productos criomolidos presentan baja pérdida de componentes volátiles , lo cual incrementa su poder saborizante.

iv. La baja temperatura tiende a disminuir el desarrollo de la carga microbiana.

v. La capacidad de molido aumenta, porque con la baja temperatura, la especia no se adhiere a las paredes del molino ni lo obtura.

vi. Hay un incremento en el sabor de las especias estimado en 30 % (Wistreich & Schafer 1962 20) ó 14 - 37 % (Perkins & Soskel 1976 20).

Teóricamente el empleo de la criomolienda para especias incrementa la retención de componentes volátiles (y con esto el sabor) mejorando sus cualidades, pero existen pocos datos publicados que sostienen esto (Wistreich & Schafer 1962, Russo 1976 y Perkins & Soskel 1976 20). Dos de estos reportes proporcionan datos sobre los aceites volátiles, pero no mencionan sus procedimientos , réplicas ni sus análisis

estadísticos. Esta información se complementa con el estudio presentado por Pesek et al. en 1985, en el cual se muestra la metodología empleada y los resultados que se obtuvieron, indican que:

a) Los métodos analíticos para las características organolépticas, muestran grandes diferencias entre las especias molidas y las criomolidas.

b) Las especias criomolidas retienen más volátiles, pero los resultados que obtuvieron no concuerdan con los publicados anteriormente.

c) Aún panelistas inexpertos son capaces de detectar las diferencias de olor y sabor entre las especias molidas normalmente y las molidas criogénicamente.²⁰

En la descripción anterior queda definido que la criomolienda tiene muchas ventajas, y que su aporte a la industria alimenticia es importante. Por lo cual se propone un estudio a los problemas planteados por cuatro diferentes tipos de especia, cada una de las cuales presentan un problema característico: canela, nuez moscada, semilla de cilantro y semilla de apio.

Producción de polvo.- La canela al molerla, produce mucho polvo en el ambiente, esto se transforma en pérdidas y crea un ambiente molesto para procesarla ya que toda el área queda cubierta por el polvo de la especia molida, al trabajar bajo condiciones criogénicas, el producto está revuelto con una sustancia (criogénica) que elimina este problema al impedir que el polvo se disperse en el medio.

Obturación del molino.- La nuez moscada presenta el problema de que , por su alto contenido de grasa, al procesarla el molino se obtura dificultando de esta forma su molienda, la baja temperatura , como ya se comentó, congela todo el producto, incluyendo la grasa sin que el producto la pierda, así la obturación se anula y además el producto conserva sus propiedades originales al mantener sus componentes (aceites volátiles).

Calentamiento en exceso.- La semilla de cilantro por su parte se calienta demasiado durante la molienda, y hay que esperar que se enfríe para tamizarla de lo contrario se aglomera y dificulta la operación, por lo tanto

la criomolienda, que garantiza una baja temperatura, nos permite la agilización en el proceso de esta especia.

Baja capacidad de molienda.- La semilla de apio tiene el problema de que, al triturarla necesita varias series de molido para obtener el tamaño de partícula deseado, la molienda criogénica al fragilizar la materia prima disminuye este problema y ahorra tiempo y energía.

1.1. LAS ESPECIAS.

Las especias tienen una historia bastante interesante, han sido causa de guerras, conquistas, ritos, etc. aunque en un principio el hombre prehistórico no las usaba, poco a poco las fue incluyendo en su dieta, al observar que mejoraban el olor y el aspecto general de sus alimentos.

Las hierbas y las especias desde un principio, no solo se usaban para condimentar los alimentos, también se empleaban para la elaboración de pócimas que disminuían los síntomas de los enfermos. Se cree que el uso de las plantas como medicamentos data de hace 5,000 años, por Fo Hi, un emperador chino. El primer recetario chino que se conoce contenía

mas de mil remedios. El Papiro Egipcio, escrito alrededor del año 3000 a.C. es el manuscrito más antiguo que se conoce, donde se describen los síntomas y remedios de algunas enfermedades de la época.

Existen registros de que 400 años más adelante, los babilonios prescribían medicinas herbales basados en el Papiro Egipcio. En el año 600 a.C. los comerciantes de especias árabes, controlaban el transporte de las mismas en China, Indonesia, Ceilan, India, Malasia por el Este y por el Oeste Grecia hasta Italia; el transporte se realizaba en botes, caravanas de camellos o a través de ríos en balsas.

Hacia el año 900 d. C., los europeos no tenían definida aún una ruta para el transporte de especias, los mercaderes venecianos no conocían su origen, los comerciantes árabes no revelaba a nadie sus rutas. Los viajeros y los buscadores de especias, contaban las más increíbles historias sobre monstruos imaginarios que los atacaban durante sus travesías, sobre asaltantes en todos los pasos de las montañas, terribles condiciones climáticas en el desierto y el mar, daban rutas equivocadas de viaje; en fin hacían cualquier cosa para frustrar el nuevo comercio, y que alguien más aparte de ellos formara parte del lucrativo negocio de las especias.

Esto se mantuvo así hasta que en el año de 1500 se publicaran "Los Viajes de Marco Polo" y se revelara el misterio de las rutas de Oriente a través de sus viajes y se establecieran vías formales de transporte para estas y otras mercancías.

Aunque Marco Polo realizó sus viajes desde 1271 a 1298, fué hasta Génova donde lo encarcelaron y escribió sus memorias, estas fueron fuentes de inspiración para muchos viajeros ya que sus memorias editadas se introdujeron a toda Europa desde 1477. Y fue Cristóbal Colón uno de los seguidores de estas experiencias para buscar una mejor ruta a Oriente. El deseo de encontrar una ruta más corta a las Indias para disminuir el precio de las especias fue otra razón importante para que Colón insistiera en su viaje. Como sabemos este tipo de expediciones fué fundamental para dar un vuelco a la historia ya que un solo país controlaba el mercado de especias en todo el mundo al colonizar un nuevo continente

En el siglo XV la competencia se acentuó con la presencia de los ingleses en las rutas descubiertas. Ya para el siglo XVIII, los ingleses contaban con grandes flotas de embarcaciones fuertes que podían transportar grandes cantidades de especias de un continente a otro.

A finales del siglo XVIII y a principios del siglo XIX los europeos buscaban un nuevo futuro en las colonias de América, cada grupo de inmigrantes tenían sus costumbres, preferencias étnicas y por supuesto sus hábitos de alimentación, por lo cual para satisfacer estas necesidades se introdujeron especias del viejo continente, teniendo rápida aceptación y adquiriendo popularidad.

La comercialización de especias se desarrolló ágilmente en Estados Unidos, que actualmente es el principal centro de negocios para este rubro, ubicando la mayoría de las transacciones en el área de Wall Street de la ciudad de Nueva York, y recibiendo grandes volúmenes de especias en los puertos de San Francisco y Los Angeles.

Las especias son transportadas hacia los Estados Unidos enteras, las compañías que las procesan, bajo la vigilancia de la Unites States Food and Drug Administration (USFDA), se encargan de limpiar el producto, molerlo, extraerle sustancias esenciales, mezclarlas o empacarlas en envases más pequeños que faciliten su distribución. Muchas de las especias tropicales se han producido por siglos en el hemisferio Este, pero

en América Central y del Sur, es donde se producen las especias de mejor calidad para el mercado mundial. 12

1.1.1. DEFINICIÓN DE ESPECIA.

Ahora bien, para definir el término especia, Farrell (1990) propone lo siguiente: "El término especia es aplicable a cualquier extracto, aroma ó sustancia vegetal, en forma de harina, triturada ó entera que contribuya al sabor; siendo su función primaria en el alimento como condimento antes que nutricional, para lo cual mejorará el sabor de los alimentos o bebidas, para poderse llamar así; por lo tanto mantendrá en su totalidad sus aceites volátiles y otras sustancias saborizantes que no podrán ser removidos o agregados a la especia como aditivos. Las especias pueden ser el tallo la raíz, el bulbo, las hojas, las flores, el fruto, el rizoma, las semillas, el estilo e inclusive la planta entera."

La definición anterior incluye a todas las especias que contribuyen al sabor y/o aroma de los alimentos, las plantas que sirven como colorantes como el pimentón ó la mostaza amarilla se consideran aparte por términos más que nada legislativos según la Colliers National Encyclopedia. Por ser extensa la variedad de las especias, se han elaborado definiciones

particulares para cada una, así como especificaciones, a continuación se describirán las características de las especias de nuestro interés:

1.1.2. SEMILLA DE APIO (*Apium graveolums L.*)

De la familia de las umberlíáceas.

La semilla de apio se conoce desde hace unos 3,000 años, se hace mención de ella en la Odisea de Homero, como un excelente medicamento, pero no fue sino hasta 1623 en Francia que la semilla de apio se usó como condimento para los alimentos.

El apio es originario de los países del Sur de Europa y del Norte de África. Se cultiva en Francia, Gran Bretaña, Hungría, Japón, India y los Estados Unidos. La producción mundial sobrepasa las 2,000 ton anuales, y la mayoría se dirige hacia las industrias de oleorresinas y para la extracción de aceites esenciales.

La semilla de apio como su nombre lo indica, es el origen de una planta que se desarrolla hasta unos 45 cm (18 in), de la cual se obtiene el apio en sí. La semilla es esférica, diminuta (1 mm de diámetro), de color

café brillante y una característica importante es su penetrante aroma y sabor característico.

Su contenido de aceite volátil es de 3 % en promedio, y esta compuesto por 60 % de d-limoneno, 10 - 20 % de selineno, sedanólido y anhídrido sedanónico. Su aroma es agradable, penetrante, picante, ligeramente denso, frutal y muy persistente. Su sabor es similar al del apio pero deja una gran sensación de amargo. Su contenido medio de aceite es de 16 %.

La oleorresina de la semilla de apio es de dos tipos: Francesa e Hindú. El tipo Francés es dulce, hierbal y fuerte, aún en poca cantidad, es de color apagado, la Hindú es más hierbal con un tenue sabor a limón insistente. Los sabores entre un tipo y otro son ligeramente distintos, siendo el francés el más apetecible, pero los dos son amargos.

La oleorresina que se obtiene de la semilla es un líquido verdoso, y que tiene una concentración de aceites volátiles de 9 ml por cada 100 gr de producto. Aproximadamente 2.16 Kg (4.75 lb) del extracto equivalen a 45.45 Kg (100 lb) de semillas de apio frescas en aroma y sabor.

En cuanto a su legislación, la semilla de apio es el origen del fruto (*Apium graveolens L.*). Son de color café brillante a café, tienen un aroma característico penetrante y un sabor amargo. La especia contiene no más de 12 % de cenizas totales, 1.5 % de cenizas insolubles en ácido y 10 % de humedad. Contendrá no menos de 2.0 ml de aceites volátiles por cada 100 gr de muestra, y no menos del 12 % de extracto etéreo no volátil. Con mínimo 95 % de su desarrollo fisiológico, deberá aprobar el tamizado No. 20 de la US standart.

Para lo que se refiere a su empleo en alimentos, aunque es poco parecida con respecto a las demás semillas, es de la familia de las especias que se usan para condimentar prácticamente cualquier platillo por su sabor, de preferencia en forma fresca.

Se pueden adicionar en jugos de jitomate o en ensaladas de vegetales, sopas, guisados con carne de pollo o de pavo, en omelets, para mariscos y en la preparación de sandwiches. Es muy común en Francia, Inglaterra y América.

ESPECIFICACIONES:

Cuadro 1.- Especificaciones sensoriales para semilla de apio molida.

"Especificaciones de la semilla de apio molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

Aspecto:	Polvo de color café verdoso con presencia de algunas semillas enteras.
Olor:	Fuerte característico.
Sabor:	Cálido, ligeramente amargo.

Cuadro 2.- Especificaciones fisicoquímicas para semilla de apio molida.

"Especificaciones de la semilla de apio molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

Fisicoquímicas	Min.	Max.
Humedad (%)	...	10
Cenizas (%)	...	14
Grasa (extracto etéreo %)	12	25.3
Aceite volátil (ml/100 gr)	2.0	...

Cuadro 3.- Tamaño de partícula para semilla de apio molida.

"Especificaciones de la semilla de apio molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

MALLA	RETENIDO	PASA
20	5.0 %	95.0 %

Cuadro 4.- Especificaciones microbiológicas para semilla de apio molida.

"Especificaciones de la semilla de apio molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

<u>MICROBIOLÓGICAS (para producto sanitizado)</u>	Min.	Max.
Cuenta bacteriana total UFC/gr	...	30,000
Hongos UFC/gr	...	300
Levaduras UFC/gr	...	300
Coliformes totales UFC/gr	...	30
Salmonella en 25 gr	...	negativo

Cuadro 5.-Especificaciones de manejo para la semilla de apio molida.

"Especificaciones de la semilla de apio molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

ENVASE:	Saco de papel mullicapa de 25 Kg con bolsa interior de polietileno atóxico.
ALMACENAJE:	Almacén cerrado, a temperatura ambiente, protegido de la intemperie y el polvo.
TIEMPO MAXIMO:	Seis meses.
TRANSPORTE:	Temperatura ambiente, protegido de la humedad. Evitando cualquier posibilidad de contaminación.
REGISTRO DE S.S.A. :	De acuerdo a las nuevas disposiciones de la S. S. A. no lo requieren.

1.1.4. CANELA (*Cinnamomun zeylanicum Pluma*)

De la familia de las Lauráceas.

La canela es quizá la especia más antigua que se conoce, ya en la Biblia Moisés la menciona, como una de las especias que se usaban en ceremonias religiosas, al quemarla como incienso. Hubo una época en que fue muy valorada, incluso más que el oro y por sus cualidades como conservador, se empleó para embalsamar en Egipto hace 3,000 años.

La canela es originaria de la zona caliente y húmeda de Sri Lanka, donde se ubica más del 70 % de la producción mundial, junto con India, Sumatra y Borneo.

La canela Saigón (*C. laureieii* Nees), es considerada como la más fina de las canelas, se cree que es de origen chino, y actualmente se cultiva en Java, Sumatra y Sudamérica.

Los principales productores de canela son África, Egipto, la República de Malgache (Madagascar) y México; también Brasil produce canela pero en poca cantidad.

Los árboles de canela (canelos), alcanzan alturas de 9 - 15 mts (30 -50 ft) en zonas altas 1,525 mts (5,000 ft), sus ramas se mantienen firmes hasta 17 cm (6.5 in) de largo. Las flores amarillo con blanco forman grupos que posteriormente dan un fruto en forma de bayas. Para obtener la canela como la conocemos, la corteza del árbol se corta a una altura mínima de 2.4 m (8 ft) de la base, para permitir así el desarrollo de la misma. La corteza se rebana longitudinalmente y de una sola tajada en formas proporcionales.

La corteza consta de 2 partes, y es la parte interior (segunda corteza) la que se usa, para esto se fermentan durante 24 horas las secciones cortadas, después de esto se separan con un cuchillo curvo especial y se seca la segunda corteza, que es cuando toma su forma de canutillo como la conocemos. La corteza es seleccionada por su color y textura antes del secado los "canutillos" tienen poco más de un metro de largo, 1 cm de diámetro y 0.5 mm de grueso.

Al comerciar la canela se maneja en varas, y se vende en diversos tamaños de 5 a 20 cm (2 a 8 in) de largo. Mientras más completa se encuentre la vara inicial se cotiza mejor por su sabor, ya que al trocearse, las astillas tienden a perder sus cualidades organolépticas.

La canela fresca y de buena calidad contiene de 0.9 a 2.3 % de aceites esenciales, según la variedad. Tiene un color café opaco y homogéneo, agradable aroma picante y con características de sabor semejantes.

El aceite refinado de canela de Ceilán es de aroma fuerte y penetrante, dulce y agradable, picante, ligeramente a madera. El aceite desprende un suave olor y cuando se deshidrata da un tenue aroma floral.

El aldehído cinámico representa 65 - 75 % de los componentes del aceite; los demás son: l-linanol, furfural, metil amil cetona, aldehído nonílico, benzaldehído, aldehído hidrocínámico, aldehído canela, cariofileno, l-felandreno, p-cimene y l-alfa-pinona.

Los terpenos representan excedentes en la corteza y en las raíces, así como en el aceite, pero en diferentes proporciones: el aceite obtenido de los excedentes y del tronco es rico en eugenol, el principal ingrediente del saborizante de clavo, o sea que el aceite obtenido de la canela es designado impropiamente como, aceite de clavo.

La legislación marca que hay tres tipos de canela:

1.- *Batavia cassia*, que es la corteza seca de las variedades *Cinnamomun burmanni* Nees *pluma*. Que contendrá máximo 5.0 % de

cenizas totales, 2.0 % de cenizas insolubles en ácido, 11 % de humedad y mínimo 1.25 ml de aceite volátil por cada 100 gr.

2.- *Saigón cassia*, que es la corteza seca de las variedades *Cinnamomun loureirii* Nees. Que contendrá máximo 6.0 % de cenizas totales, 2.0 % de cenizas insolubles en ácido 10.0 % de humedad y mínimo 3.0 ml de aceite volátil por cada 100 gr.

3.- *Korintji cassia*, con las mismas condiciones de la *Batavia cassia* excepto que el contenido mínimo de aceites volátiles será de 1.5 ml por cada 100 gr.

Cada uno de los tipos de canela deberán pasar, por un mínimo del 95% a través del tamiz No 40 de la U S standart. El color deberá ser café rojizo y uniforme. La especificación también se refiere a la dimensión de las varas de canela, provenientes de la variedad *Batavia cassia*, las cuales, al cortarse no excederán 15 mm de diámetro.

En cuanto a la canela compuesta, deberá elaborarse de la adición de un encapsulado de aceite esencial de canela de cassia o una combinación de las demás variedades. El contenido mínimo de aceite volátil del producto final será de 1.5 ml por cada 100 gr.

La canela se emplea en infinidad de alimentos como se explica a continuación: En Europa espolvorean una mezcla de canela y azúcar sobre tomates sazonados, en América ésta mezcla se usa para el pan tostado durante el desayuno. Los griegos usan las varas de canela para sus platillos, los hindúes para sazonar y en México se le agrega al chocolate y a los dulces típicos. La canela se usa también para cócteles de jitomate con jugo de arándano, pasas, chocolate, limón, naranja y otras ensaladas de fruta, en carnes, especialmente cordero, pollo, cerdo y lengua, así como cualquier carne guisada con frutas. La canela realza el sabor de las zanahorias, la calabaza dulce, la berenjena, los tomates, las papas dulces y las cebollas. Una pizca de canela combina muy bien con el chocolate, el dulce de manzana y el café. También se usa en la pastelería y las conservas en almíbar.

La canela molida, el aceite y/o las oleorresinas son usadas para la manufactura de perfumes, confitería, helados, bebidas, gomas de mascar, pasteles, galletas, pays y panificación en general, adobos, sazonadores preparados en polvo, bases para sopa, salsas, mortadela, jamón ahumado y muchos otros alimentos. Los extractos de canela son también usados en productos farmacéuticos como un carminativo, antidiarreico y para dar sabor a los jarabes. 12

1.1.5. Especificaciones de la canela molida.

DESCRIPCION: Es el producto que se obtiene de la molienda de la corteza deshidratada de *Cinnamomun zeylanicum* o *Cinnamomun cassia* de la familia botánica de las canelas.

ORIGEN: Sri Lanka

ESPECIFICACIONES:

Cuadro 6.- Especificaciones sensoriales para canela molida. "Especificaciones de la canela molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

Aspecto:	Polvo de color café
Olor:	Es delicado e intenso, agradablemente dulce, con tonos a madera.
Sabor:	Bien definido, fragante y cálido.

Cuadro 7.- Especificaciones fisicoquímicas para canela molida.

"Especificaciones de la canela molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

<u>Fisicoquímicas</u>	Min.	Max.
Humedad (%)	...	11.0
Cenizas(%)	...	4.0
Grasa (extracto etéreo %)	...	3.2
Fibra cruda (%)	...	25.0
Aceite volátil ml/100 gr	1.5	2.3
Materia extraña (%)	...	1.0

Cuadro 8.- Tamaño de partícula para canela molida. "Especificaciones de la canela molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

Malla	Retenido	Pasa
40	3.0%	97%

Cuadro 9.- Especificaciones microbiológicas para canela molida. "Especificaciones de la canela molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

MICROBIOLÓGICAS (para producto sanitizado)	Min.	Max.
Cuenta bacteriana total UFC/gr	...	30,000
Hongos UFC/gr	...	300
Levaduras UFC/gr 300	...	
Coliformes totales UFC/gr	...	30
Salmonella en 25 gr	...	negativo

.Cuadro 10.- Especificaciones de manejo para la canela molida.

"Especificaciones de la canela molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

Envase:	Saco de papel multicapa de 25 kg con bolsa interior de polietileno.
Almacenaje:	Almacén cerrado, a temperatura ambiente, protegido de la intemperie y el polvo
Tiempo máximo:	Seis meses.
Transporte:	Temperatura ambiente, protegido de la humedad. Evitar cualquier posibilidad de contaminación
Registro de S.S.A.	De acuerdo a las nuevas disposiciones sanitarias de la S S A. No lo requieren.

1.1.6. SEMILLA DE CILANTRO (*Coriandrum sativum* L.)

De la familia de las Umberiláceas.

De acuerdo a los primitivos Sánscritos , el cilantro se conoce desde hace 5.000 años, cuando en Egipto era comercializada durante la 21^a Dinastía, durante 1091 y 961 a.C. El cilantro es fuerte, oloroso, una planta de fácil crecimiento de la familia del perejil, originaria de la región noreste y mediterránea. entre África y Europa. Actualmente se cultiva en Bulgaria,

China, Francia, Gran Bretaña, India, Italia, Marruecos, México, los países bajos, Rumania, Rusia, España, Yugoslavia, Turquía, Argentina y Estados Unidos.

La planta con un tallo de 60 cm (2 ft), delgado, erecto, hueco con flores de color rosa vivo en forma de campana. El fruto del cilantro (llamado impropriamente semilla), es de color café amarillento y tiene 4 mm de diámetro de texturas rectas y curvas. El sabor es una mezcla de alcaravea, canela, salvia y cáscara de limón, su aroma es característico, picante, dulce, frutal, ligeramente balsámico.

El aceite del cilantro representa sólo el 1 % de la semilla en peso, está compuesto de 60 - 70 % por d-dinanol, d-alfa-pinona, beta-pinona, beta y alfa-terpenona, geraniol, boenreol, decaldehido y ácidos acéticos. La mezcla de aceites es el 20 % del peso total. Los ácidos grasos son oleico, petroselinico, palmítico y linoleico. El aceite esencial de las pequeñas frutas no es superior en sabor pero si es más abundante.

La oleoresina es un líquido café amarillento con un mínimo de contenido en aceite volátil de 40 ml por cada 100 gr. Aproximadamente

1.36 Kg (3 lb) de oleoresina es equivalente a 45.45 Kg (100 lb) de semilla de cilantro fresca en cuanto a sus características de olor y sabor.

La legislación por su parte, marca que la semilla de cilantro, madura y pulverizada, es el fruto seco de la *Coriandrum sativum* L., sus semillas son esféricas, café amarillentas, con un tenue aroma y un placentero sabor.

Contiene mínimo una traza de aceite volátil. La especia madura deberá atravesar mínimo 95 % a través del tamiz No 40 de la U S Standard. La planta completa sirve para dar sabor a sopas y ensaladas.

La semilla de cilantro se usa como saborizante en confitería, pastas, crema, quesos cottage y media crema, postres, pan de jengibre, bizques, galletas, pasteles, gomas de mascar, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, así como condimento para carnes y embutidos. 12

1.1.7. Especificaciones de semilla de cilantro molida.

DESCRIPCION: Es el producto que se obtiene del fruto seco de

Coriandrum sativum que pertenece a la familia del perejil.

ORIGEN: México

ESPECIFICACIONES:

Cuadro 11.- Especificaciones sensoriales para la semilla de cilantro molida.
 "Especificaciones de la semilla de cilantro molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

Aspecto:	Polvo de color café pálido.
Olor:	Fragante suave.
Sabor:	Ligeramente mentolado, suave.

Cuadro 12.- Especificaciones fisicoquímicas para la semilla de cilantro molida.
 "Especificaciones de la semilla de cilantro molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

<u>Fisicoquímicas</u>	Min.	Max.
Humedad (%)	...	9.0
Cenizas (%)	...	6.0
Grasa (extracto etéreo %)	12.0	20.0
Aceite volátil ml/100 gr	0.3	...
Materia extraña	...	0.5

Cuadro 13.- Tamaño de partícula para semilla de cilantro molida.
 "Especificaciones de la semilla de cilantro molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

Malla	Retenido	Pasa
30	0.0 %	100%
40	3.0%	97%

Cuadro 14.- Especificaciones microbiológicas para semilla de cilantro molida. "Especificaciones de la semilla de cilantro molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

MICROBIOLÓGICOS (para producto sanitizado)	Min.	Max.
Cuenta bacteriana total UFC/gr	...	30,000
Hongos UFC/gr	...	300
Levaduras UFC/gr	...	300
Coliformes totales UFC/gr	...	30
Salmonella en 25 gr	...	negativo

Cuadro 15.- Especificaciones de manejo para la semilla de cilantro molida. "Especificaciones de la semilla de cilantro molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

Envase:	Saco de papel cen-pak de doble capa con bolsa interior de polietileno.
Almacenaje:	Almacén cerrado a temperatura ambiente, protegido de la intemperie y el polvo.
Tiempo máximo:	Seis meses.
Transporte:	Temperatura ambiente protegido de la humedad. Evitando cualquier posibilidad de contaminación.
Registro de S. S. A.:	De acuerdo a las nuevas disposiciones sanitarias de la S. S. A. no lo requieren.

1.1.8. NUEZ MOSCADA (*Myristica fragrans* Houtf)

De la familia de las Miristicáceas.

Se cree que es originaria de las islas Molucas, al este de Malasia, de aquí se distribuyó primero a Java para luego exportarla a Ceilán o la India, después a Alejandría y de ahí a Venecia, donde se introduce hacia toda Europa, en total un recorrido de 4,000 millas. El sabor de la nuez producida en la India es reconocido, pero no ha podido superar a la especia original de Molucas o Java, y por consiguiente en Europa siempre han preferido la nuez moscada de mejor calidad despreciando la hindú. Actualmente la nuez moscada se produce en las islas Banda, Brasil, Granada, Java, Malasia y Sumatra, además de las islas Molucas. Los árboles crecen en alturas de 305 m (1,000 ft) sobre el nivel del mar, en clima tropical.

El aceite volátil de la nuez moscada es el 16 % del total en peso, es conocido como aceite de mirística. Es de color amarillento con color y sabor a nuez moscada: picante, dulce y algo avinagrado. La nuez moscada produce 24 - 30 % de aceite fijo, llamado mantequilla de nuez moscada, es de color naranja rojizo a café rojizo con consistencia semisólida a temperatura ambiente. Su principal constituyente es la

trimiristina, los ácidos mirísticos y triglicéridos, los glicéridos de ácido oleico y linoleico, materia insaponificable, aceite volátil y resina.

Las oleorresinas de la nuez moscada son de color amarillo pálido con sólidos suspendidos. Su contenido mínimo de aceite volátil es de 80 ml por cada 100 gr. En general 2.72 Kg (6 lb) de oleorresina equivalen a 45.45 Kg (100 lb)de nuez moscada fresca en lo que se refiere a sus características de olor y sabor.

Según las especificaciones federales, la nuez moscada es la semilla seca de la planta *Myristica fragrans Houtt* sin testa, con o adición de cal (óxido de calcio). La superficie de la semilla tiene formas irregulares, algunas semillas son de forma esferoide. Sin cal, es de color café grisáceo a café. Debe tener un olor fuerte y aromático.

La nuez molida es de color café opaco, y debe de ser de un tamaño homogéneo tal que pase un mínimo del 95 % en peso a través del tamiz No 30 de la U S Standard. La especie contendrá no más del 3.0 % de cenizas totales, 0.5 % de cenizas insolubles en ácido, 8.0 % de humedad y mínimo 4 ml de aceite volátil por cada 100 gr.

La nuez moscada es usualmente empleada en confitería, panificación, postres, ensaladas de fruta, chocolate, platillos de pollo y otros guisados, así como para acompañar postres como helados. Aparte de usarse como especia, los extractos de la especia, son usados en la elaboración de carne picada, bebidas no alcohólicas, licores, helados, gomas de mascar, confitería, jarabes, perfumería y como condimento para sopas deshidratadas, también se emplea como ingrediente para embutidos como : salchichas, mortadela, pastel de pollo y paté. 12

1.1.9. ESPECIFICACIONES DE NUEZ MOSCADA.

DESCRIPCION: Producto obtenido de la molienda de la *Mirística fragrans*
Houtt desprovista de su tallo.

ORIGEN: Brasil

ESPECIFICACIONES

Cuadro 16.- Especificaciones sensoriales para nuez moscada.

"Especificaciones de la nuez moscada molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

Aspecto:	Polvo de color café marrón con puntos café oscuro, libre de materia extraña.
Olor:	Especiado, cálido, ligeramente alcanforado, dulce y fuerte.
Sabor:	Amargo, cálido, especiado pungente, fuerte y aceitoso.

Cuadro 17.- Especificaciones fisicoquímicas para nuez moscada.

"Especificaciones de la nuez moscada molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

<u>Fisicoquímicas</u>	Min.	Max.
Humedad (%)	8	10
Cenizas (%)	...	3
Grasa (extracto etéreo %)	24	30
Aceite volátil (ml/100 gr)	4.0	16

Cuadro 18.- Tamaño de partícula para nuez moscada. "Especificaciones de la nuez moscada molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

Malla	Retenido	Pasa
30	5.0 %	95.0 %

Cuadro 19.- Especificaciones microbiológicas para nuez moscada.

"Especificaciones de la nuez moscada molida" Condimentos Naturales Tres Villas.

<u>MICROBIOLÓGICAS (para producto sanitizado)</u>	Min.	Max.
Cuenta bacteriana total UFC/gr	...	30,000
Hongos UFC/gr	...	300
Levaduras UFC/gr	...	300
Coliformes totales UFC/gr	...	30
Salmonella en 25 gr	...	negativo

Cuadro 20.- Especificaciones de manejo para la nuez moscada molida. "Especificaciones de la nuez moscada molida" Condimentos Naturales Tres

Villas.

ENVASE:	Saco de papel multicapa de 25 kg con bolsa interior de polietileno atóxico.
ALMACENAJE:	Almacén cerrado a temperatura ambiente protegido de la intemperie y el polvo.
TIEMPO MAXIMO:	Seis meses.
TRANSPORTE:	Temperatura ambiente, protegido de la humedad, evitando cualquier posibilidad de contaminación.
REGISTRO DE S. S. A.:	De acuerdo a las nuevas disposiciones de la S. S. A. no lo requieren.

1.2. El proceso de molienda.

Después de recolectadas, las especias sufren cambios de diversa cuantía en el curso de las operaciones de secado, molienda, tamizado y almacenamiento. Es imposible que su calidad de fresca la conserven sin variación al pasar el tiempo, pues son muchos los factores que afectan contra ella. Uno muy importante, es la procedencia; el cilantro europeo, por ejemplo contiene más aceite etéreo y es de grano más pequeño que

el marroquí. Otro factor importante, es el terreno de cultivo pues las labores que recibe imprimen honda huella sobre la calidad de las especias: las de un mismo país ofrecen con frecuencia composición cuantitativa variable. Así pues, se cuida la calidad recolectando en momento oportuno, moliendo bien y almacenando en condiciones convenientes. 15

La reducción de tamaño es una operación muy importante en la tecnología de alimentos, siendo su efecto principal reducir el tamaño e incrementar la relación superficie-volumen. Esto ayuda a aumentar la velocidad a la que tienen lugar los procesos de difusión en la deshidratación y extracción por disolventes. Se utiliza normalmente como operación de pretratamiento para materias crudas antes de su envasado, congelación y/o deshidratación o bien para la producción de polvos finos que sean más fácilmente manejados o transportados.

El término trituración se aplica generalmente al desmenuzamiento de materiales groseros hasta tamaños del orden de 3 mm. Molienda es en cambio un término empleado para referirse a la obtención de productos

en polvo. La trituración está frecuentemente asociada a la aplicación de fuerzas de compresión y la molienda a la de fuerzas de cizalla.

Se pueden distinguir tres clases de fuerzas (Cuadro 21), estando en cualquier operación de reducción de tamaño presentes más de una. A continuación se mencionan los tipos de fuerza que predominan en algunos de los molinos de uso frecuente en la industria de los alimentos.

Cuadro 21.- Clasificación de molinos por su tipo de fuerza y principio.

Brennan et al 1980

FUERZA	PRINCIPIO	APARATO
Compresión	Compresión (cascanueces)	Rodillos trituradores
Impacto	Impacto (martillo)	Molino de martillo
Cizalla	Frotamiento (piedra de molino)	Molino de discos

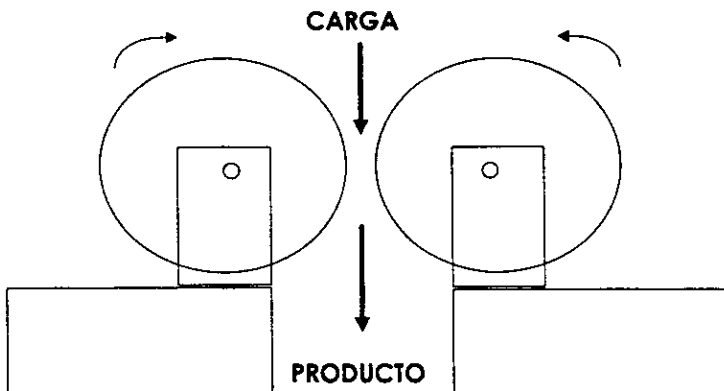
Las fuerzas de compresión se utilizan para la ruptura grosera de productos duros. Las fuerzas de impacto se pueden considerar como fuerzas para uso general, empleándoseles para la molienda fina, media y gruesa de una gran variedad de productos alimenticios.

Las fuerzas de frotamiento o cizalla se utilizan extensamente en aparatos para la trituración de sustancias blandas no abrasivas en los tamaños más pequeños, por ejemplo en la molienda fina.

De acuerdo a la clasificación mostrada en el cuadro 21 podemos reconocer a los molinos por su tipo de fuerza empleada y principio, a continuación se describen brevemente los equipos más representativos con estas características.

Trituradores de rodillos.- En esta máquina dos o más rodillos pesados, giran uno hacia otro (Figura 1), las partículas de la carga son atrapadas y arrastradas entre los rodillos, sufriendo una fuerza de compresión que la tritura. En algunos aparatos los rodillos giran a diferente velocidad, dando lugar también a fuerzas de cizalla.

Fig. 1.- Rodillos trituradores. Brennan et al 1980



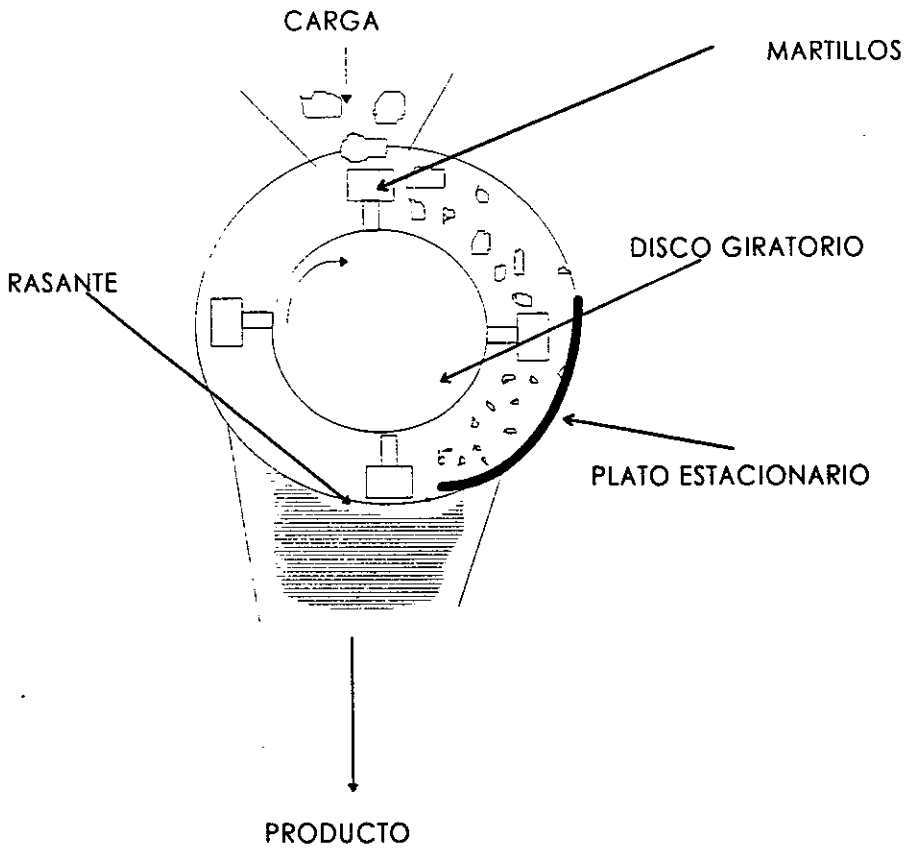
La producción de estas unidades esta regida por la longitud y diámetro de los rodillos y por la velocidad de rotación. Con los diámetros mayores se utilizan corrientemente velocidades de 50-300 rpm.

Las relaciones de reducción de tamaño son pequeñas, en general inferiores a 5 mm. El diámetro de los rodillos, su velocidad diferencial y el espacio que entre ellos queda se pueden variar para adaptarlos al tamaño de la materia de partida y la velocidad de producción deseada. Aunque cuentan con un resorte de compresión para el exceso de carga a fin de proteger la superficie de los rodillos, antes de la trituración se deben quitar los cuerpos extraños duros. 4

Molino de martillos.- Este tipo de molinos de impacto o percusión es común en la industria de alimentos. Un eje rotatorio de gran velocidad lleva un collar con varios martillos en su periferia, al girar el eje, las cabezas de los martillos se mueven siguiendo una trayectoria circular dentro de una armadura que contiene un plato de ruptura endurecido, de casi las mismas dimensiones que la trayectoria de los martillos (Figura 2).

Los productos de partida pasan a la zona de acción donde los martillos los empujan contra el plato de ruptura, la reducción del tamaño es producida principalmente por fuerzas de impacto, aunque si las condiciones de operación son obturantes las fuerzas de frotamiento pueden tomar parte en la reducción de tamaño. Los molinos de martillo se pueden considerar como molinos para uso general, ya que son capaces de triturar sólidos cristalinos duros, productos fibrosos, sustancias vegetales, productos untuosos, etc. Se utilizan en la industria de los alimentos para moler especias, leche deshidratada, azúcares, etcétera. 4

Fig. 2.- Molino de martillos. Brennan et al 1980

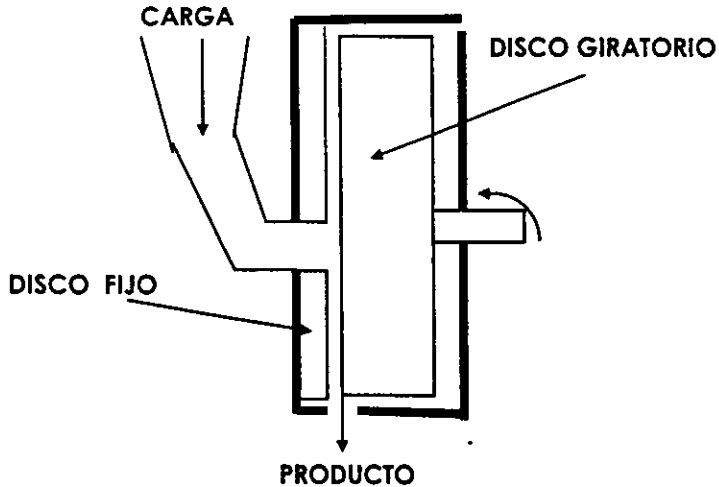


En los molinos de martillos se pueden manejar tanto sustancias quebradizas como fibrosas, aunque para estas últimas se utilizan secciones agudas que proporcionan una acción de corte.

Molinos de disco de frotamiento.- Los molinos que utilizan las fuerzas de frotamiento o cizalla para reducir el tamaño juegan un papel primordial en la molienda fina. Como la mayoría de la molienda que se lleva a cabo en la industria de los alimentos es para producir partículas de tamaño muy pequeño, esta clase de molinos encuentra una amplia gama de aplicaciones. Dentro de esta clase de molinos, encontramos 3 principales tipos:

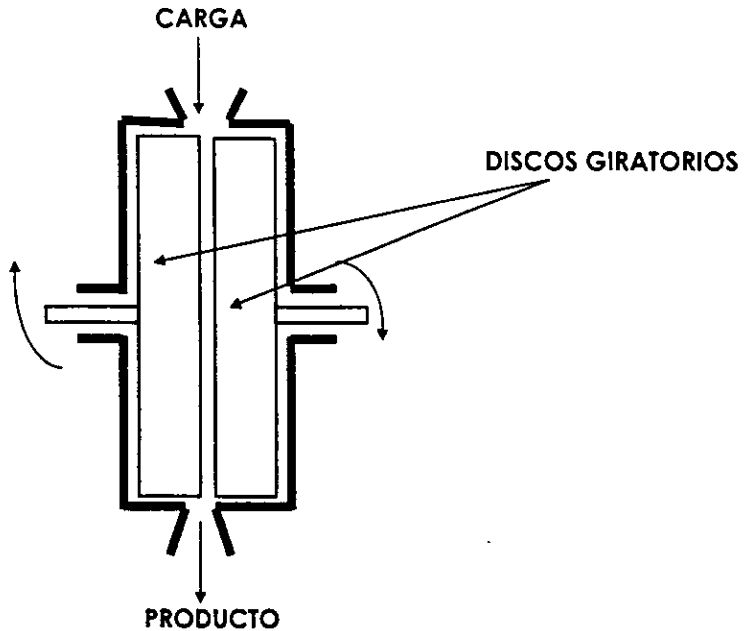
Molino de disco único.- En este dispositivo las materias de partida pasan a través de la separación estrecha que existe entre un disco estriado que gira a gran velocidad y la armadura estacionaria del molino (Figura 3) como consecuencia de la intensa acción cizallante se produce la trituración de la carga, la separación se puede variar según sean el tamaño de las materias y las exigencias del producto acabado. 4

Fig. 3 - Molino de disco sencillo. Brennan et al 1980



Molino de doble disco.- En esta modificación la armadura contiene dos discos (Figura 4) que giran en dirección opuesta proporcionando un grado de mayor cizallamiento que el que se puede conseguir con los molinos de disco único. En otra modificación de este principio básico, el molino de Foss, el disco tiene estrías que facilitan la desintegración. Esta clase de molinos de discos cizallantes se utilizan extensamente en la preparación de cereales y molienda de arroz y maíz. 4

Fig. 4.- Molino de disco doble. Brennan et al 1980

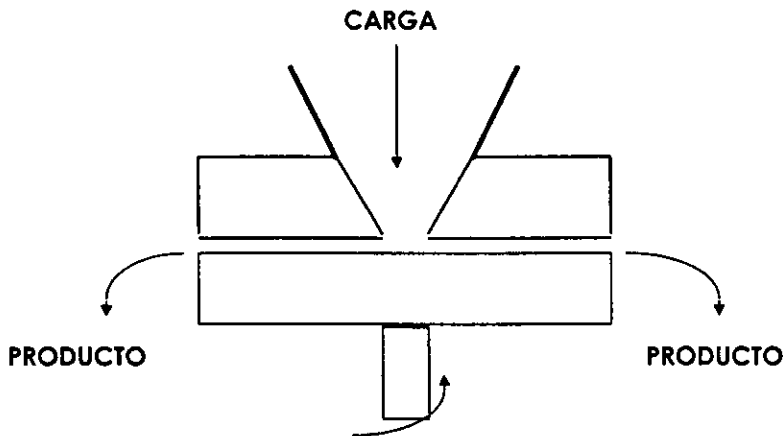


Molino de piedras.- Es una clase muy antigua de molino de frotamiento con disco, utilizado principalmente para la molienda de harina. Consiste en dos piedras circulares montadas sobre un eje; la superior que corrientemente es fija tiene una boca de entrada de la carga mientras que la inferior gira (Figura 5). La carga pasa por las separación entre las dos

pedras, los productos, una vez que han experimentado la fuerza de cizalla desarrollada entre las dos pedras, descargan por la arista inferior.

En algunos modelos las dos pedras giran en dirección opuesta, en las máquinas modernas las pedras se están reemplazando por pedras de acero endurecido.

Fig. 5.- Molino de pedras. Brennan et al 1980.



Este tipo de molino se utiliza todavía en la molienda húmeda de maíz para separar el gluten y el almidón de la cáscara. Otras variedades de

esta clase de molinos se emplean ampliamente en la elaboración del chocolate; por ejemplo los granos de cacao se trituran en molinos de piedras triples horizontales, aunque también aquí los procesos modernos utilizan discos dentados de acero endurecido en lugar de piedras. 4

1.2.1. Tamizado

En un proceso de reducción de tamaño las partículas obtenidas varían ampliamente de tamaño y es con frecuencia necesario clasificarlas en grupos que cubren un determinado rango de dimensiones. La especificación de un producto suele requerir que no contenga partículas mayores (o menores de, según el proceso) un cierto tamaño. En los estudios de reducción de tamaño suele hacerse referencia al de las partículas en términos de apertura de malla. 4

Esto es, la efectividad de una operación de reducción de tamaño puede evaluarse mediante el análisis de tamaño de la partícula, por medio de tamices, microscopía o más recientemente con contadores Coulter, que detectan un cambio en impedancia debido a las partículas

pequeñas. Los resultados se presentan normalmente como una distribución de tamaños de partícula. Puede ser necesario definir criterios para el proceso de molienda. Se puede desear la producción de partículas con un rango de tamaños de partícula muy estrecho o con un rango amplio, o bien asegurar que todas las partículas caen por debajo de un cierto tamaño determinado para esto nos sirve el tamizado.

El tamizado es una operación que consiste en la separación por medio de cribas o tamices de una muestra con diversos tamaños de partícula en dos o más porciones, la separación se efectúa de manera que las partículas sean de tamaño más uniforme que los de la mezcla original.

El material que queda sobre una criba o tamiz dado es de tamaño mayor que las aberturas del mismo y se indica por más (+) del tamiz; el que pasa es el menor que las aberturas y se indica por menos (-) del tamiz.

La operación de clasificación de tamaños tiene 3 propósitos primordiales en la industria:

1) Antes de la molienda, separar por cribado previo las partículas más gruesas de un producto en el que hay gran variación de tamaños, de ordinario, para su reducción posterior de tamaño.

2) Durante la molienda, clasificar los granos más finos de las alimentaciones del triturador para economizar así energía e impedir una molienda excesiva (en el caso de molienda en circuito cerrado).

3) Después de la molienda estandarizar el tamaño de los productos dentro de los tamaños para los requerimientos comerciales.

Los tamices utilizados se construyen de telas tejidas con alambres metálicos de diámetro y espaciado cuidadosamente especificados, formando el piso de cajas cilíndricas. Tales cajas tienen diámetros que oscilan entre los 20-25 cm y una altura de alrededor de 7 cm.

Sus bordes permiten que los tamices se calcen entre sí, pudiéndolos formar en una pila que se cierra por arriba mediante una tapa y por debajo con un plato sólido.

Las aberturas de la malla metálica son cuadradas y el tamaño se determina indicando la longitud del lado del cuadrado, para los tamices grandes, o bien el número de aberturas por unidad de longitud (cm ó in), para los tamices más finos.

La serie Tyler es quizás la más difundida (en el Cuadro 22 se muestran los tamices de esta serie usados para la presente investigación) y está basada en el tamiz de malla 200, con una abertura de 0.074 mm (0.0029 in) y un diámetro de alambre de 0.05334 mm (0.0021 in) y una relación de $2^{1/4}$ adoptada por el National Bureau of Standards USA. Los otros tamices varían según la razón constante $2^{1/4}$; de todos ellos y con la razón $2^{1/2}$ se puede formar una serie intermedia, no completa, para análisis no tan rigurosos.

Cuadro 22.- Serie de tamices Tyler usados para esta investigación.

"Farmacotecnia Teórica y Práctica" Hermann, José 1981.

Abertura (in)	Abertura (mm)	Diámetro de alambre (mm)	No. de malla
0.0328	0.833	0.0172	20
0.0195	0.495	0.0118	30
0.0138	0.351	0.0100	40
0.0097	0.246	0.0700	60
0.0069	0.175	0.0056	80
0.0058	0.147	0.0042	100

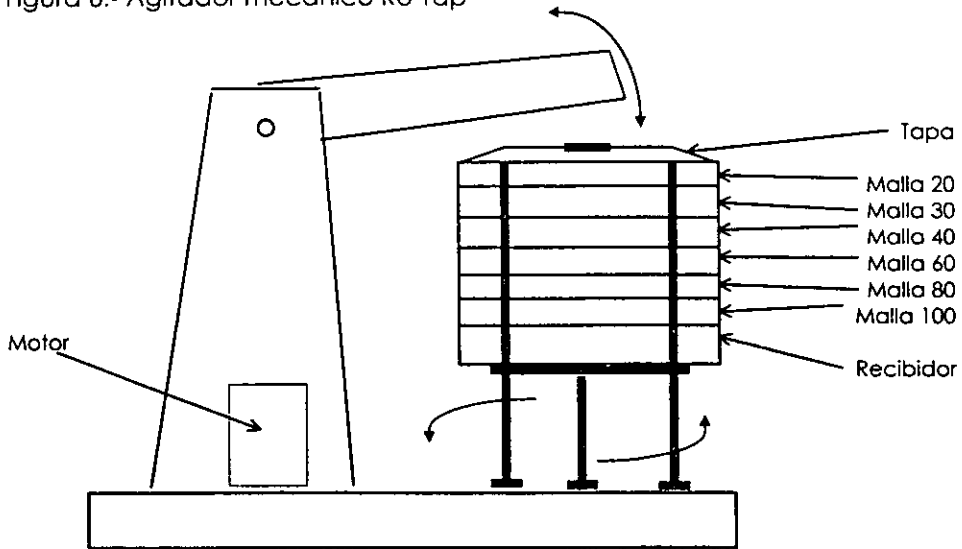
La agitación, que facilita el pasaje a través de los orificios se hace a mano o lo que es mejor , colocando la pila de tamices encima de una plataforma, apoyada sobre elásticos que es sarandeadada por medio de un agitador mecánico llamado Ro-Tap (Figura 6)22.

El agitador mecánico Ro-Tap fabricado por la W. S. Tyler Co. es la máquina normalizada para realizar el procedimiento de ensayo al tamiz con exactitud y garantía.

Este dispositivo (Figura 6) consiste en un recipiente que contiene una serie de mallas superpuestas y un sacudidor con impulsión directa por motor eléctrico que da a los tamices un movimiento circular y otro de avance y retroceso (como el de una terraja). Su nombre Ro-Tap se deriva de *rotation* = rotación y *tap* = terraja.

El Ro-Tap está equipado para manejar de 1 a 13 tamices al mismo tiempo y con un elemento de reglaje que termina automáticamente el ensayo después de un tiempo predeterminado. 18

Figura 6.- Agitador mecánico Ro-Tap



El rendimiento o eficiencia de un tamiz sólo puede definirse en función de las condiciones que haya que cumplir en el tamizado. La definición más común consiste en expresar el rendimiento por la relación del subtamaño obtenido (o partículas que pasan por la malla) al subtamaño de la alimentación (o partículas contenidos en ésta que pueden pasar por la malla).

No obstante, cuando el objeto del cribado es la eliminación de la alimentación del subtamaño inconveniente, se calcula el rendimiento por

la relación del sobretamaño real (el que realmente tiene la alimentación que no pasa por la malla) al sobretamaño obtenido (lo que ha que dado sobre el tamiz). La W. S. Tyler Co. da la fórmula siguiente para el rendimiento del tamiz:

$$R = \frac{100 (c - a)}{(bc)} \quad \text{ec. 1}$$

$$E = R (100) \quad \text{ec. 2}$$

En donde:

R = Tanto por uno de los finos recuperados en el tamizado.

E = Porcentaje de finos recuperados en el tamizado (porcentaje de rendimiento).

a = Porcentaje de gruesos del material que se tamiza.

b = Porcentaje de finos del material que se tamiza.

c = Porcentaje de gruesos en el sobretamaño después del tamizado.

Una combinación de molienda y alguna técnica de separación es necesaria para lograr el objetivo final. La clasificación por aire es una técnica actualmente bajo investigación para separación de polvos, basada en su tamaño de partícula y su densidad. Los métodos de tamiz son satisfactorios en la mayor parte de los casos. 16

1.3. Molienda y criomolienda de especias.

A pesar de que hay varios tipos de molino, todos afectan de cierta forma la calidad de la materia prima. En el caso de las especias, es en el momento de la molienda cuando se ven más dañadas en cuanto a sus cualidades por el calor producido por el trabajo. Así por ejemplo, cuanto más finos sean los productos obtenidos, con más uniformidad se distribuirán por la masa alimenticia, pues una especia mal triturada condimenta mal y de modo desigual.

Durante la mofuración se produce siempre una pérdida de aceite etéreo y por consiguiente de calidad (organoléptica principalmente); el calor generado por fricción y rozamientos en el curso del proceso es la causa de la volatilización del aceite, por lo tanto, cuanto más calor se

produce más aceite escapa. Esta pérdida se acentúa si la molienda se realiza cuando hay aire en movimiento, por eso hay que disminuir estos dos factores.

Hasta ahora la una forma de conservar la calidad de la especia, había sido el incorporar excipientes, ya que estos poseen capacidad para retener los aceites etéreos e impedir así que se volatilicen. Las adiciones de excipientes están reglamentadas por la legislación; los preparados especiados, por ejemplo, pueden contener hasta un 30 % de azúcar. Las especias purificadas y las mezclas de especias no llevan excipientes. Grimme (Gerhardt 1975) recomienda adicionar amulina (excipiente) durante de la molienda para conservar mejor los aceites etéreos. Consta de 90.9 % de sustancia seca , 76.6 % de hidratos de carbono y 11.5% de proteínas. 15

Gran parte de la energía que se aplica a un molino se disipa en forma de calor durante el proceso a través de las fricciones de sus cojinetes (en el caso de los molinos de martillos). Disminuyendo la temperatura se evitan gran parte de estas transformaciones innecesarias de energía, sin embargo la transferencia de energía mecánica a energía

calorífica esta presente, pero lo que se busca es que este calor no afecte al producto.

Esto es, si mientras se muele una especia se mantiene baja su temperatura se consigue reducir la tensión de vapor de su aceite etéreo, y el frío que acumule dará mejor consistencia a sus grasas, resultando una molienda menos pegajosa y aceitosa, más seca y áspera; y el molino no quedará con residuos de grasa.

Hay distintos medios para reducir la temperatura, resultan apropiados el agua fría, el bióxido de carbono sólido (hielo seco) y el nitrógeno líquido; éste último es el mejor, pues con él se logran las temperaturas más bajas. Los líquidos refrigerantes no llegan a tener contacto con las especias, sólo sirven para bajar la temperatura de las piezas de la maquinaria; es pues un procedimiento indirecto de refrigeración. El bióxido carbónico y el nitrógeno se mezclan con el producto y se separan de él totalmente cuando se vuelve a alcanzar la temperatura ambiente. 15

Un factor importante con respecto a la transferencia de calor (durante el acondicionamiento) es la forma geométrica de las especias,

de las especias estudiadas una es de forma laminar (canela) y las otras tres son de forma esférica (semilla de apio, semilla de cilantro y nuez moscada).

En muchos casos, el fluido de enfriamiento pasa sobre cuerpos completamente sumergidos en él, tales como esferas, tubos, placas etc., y la transferencia de calor sólo se verifica entre el fluido y el sólido. Muchas de estas formas tienen importancia práctica en la ingeniería de proceso.

La esfera, el cilindro y la placa plana son quizá las que revisten mayor importancia en lo que se refiere a la transferencia de calor entre estas superficies y la corriente del fluido. Cuando hay una transferencia de calor durante un flujo sumergido, el flujo específico depende de la geometría del cuerpo, de su posición (frontal, lateral, posterior, etc.), de la proximidad de otros cuerpos, de la velocidad del flujo y de las propiedades del fluido. 14

De los molinos mencionados anteriormente, el molino de martillos y el molino de disco (con algunas modificaciones) se pueden emplear para la molienda criogénica de alimentos, plásticos y productos químicos. Estos

molinos producen diversos comportamientos en lo que a tamaño de partícula se refiere, como en todos los molinos estas variaciones están en función de las siguientes condiciones:

- 1.- El tamaño, la forma y la abertura de la criba o rasante de salida determina las características de la partícula que la atraviese.
- 2.- La velocidad con que la partícula pase a través de la criba . A altas velocidades las partículas fuerzan su salida y por lo tanto tienen un tamaño mayor al deseado.
- 3.- La forma de las curvas (en el extremo de los martillos y la cara del disco respectivamente), son determinantes en cuanto a la trituración del material.

Como se mencionó anteriormente, los molinos usados normalmente se pueden modificar para la criomolienda en cierto grado, ya que se debe de tomar en cuenta el material del que estan fabricados, los molinos de acero inoxidable son útiles para este fin, otros molinos hechos de acero sin aleaciones presentan limitaciones para la disminución de temperatura a la

que pueden emplear así como el tiempo de enfriamiento que pueden soportar, esto es por el punto de fractura que presenta el acero convencional.

Las modificaciones que se proponen para que los molinos convencionales criomuelan, consisten en un termosensor que detecte una temperatura dada, tal que el producto sea molido de acuerdo a lo requerido y a la vez el equipo no sea afectado (en el caso de los molinos de acero), la temperatura se controla al alimentar la substancia criogénica con una válvula solenoide (en el caso del nitrógeno líquido) o por la alimentación directa de sólidos (cuando se ocupa hielo seco).

Otro aditamento propuesto es un preenfriador que consiste en un tornillo sinfín inundado de líquido criogénico (nitrógeno líquido p. e.) el cual tiene como función disminuir la temperatura del material antes de alimentarlo al molino. El disminuir la temperatura de la materia prima tiene como fin el facilitar la fractura de la misma al triturarla y disminuir cualquier incremento de calor en el proceso de molienda.

Es importante mencionar que además del preenfriador se debe controlar la temperatura en el molino durante la operación, para lo cual se emplean el termosensor y la alimentación que se haya elegido.

Además de las modificaciones mencionadas anteriormente, se recomienda el mantener la materia prima almacenada en una cámara frigorífica para reducir costos en lo que a enfriamiento se refiere. 3

1.3.1. Criomolienda con nitrógeno líquido.

Con el nitrógeno líquido se consigue el grado más intenso de molienda criogénica, ya que por su estado tiene más contacto con el producto, a diferencia del bióxido de carbono sólido; por otra parte, tanto el nitrógeno como el bióxido de carbono dificultan las oxidaciones del aceite etéreo. Al emplear líquidos criogénicos durante la molienda (criomolienda), se han registrado temperaturas durante el proceso, inferiores a -70° C, muy distantes de la temperatura durante la molienda convencional, donde se alcanzan hasta 95° C. Además durante la molienda criogénica, la humedad del producto cristaliza y se mantiene invariable, con lo que determina que la pérdida de peso sea substancialmente menor.

La criomolienda de especias es una técnica que ayuda a retener las características originales del producto, al trabajar a temperaturas de -195.8°C (-320.4°F) con nitrógeno líquido, se consigue la refrigeración necesaria para prevenir la pérdida de aceites volátiles, que son los encargados del sabor de la especia, y que se pierden durante la molienda por el calor producido.

La cantidad de aceites volátiles retenida durante la criomolienda, al compararla con la molienda convencional, puede determinarse por una sencilla prueba de laboratorio. Todas las especias no requieren temperaturas de molienda por abajo de -195.8°C (-320.4°F).

La temperatura que se necesite está determinada por el tipo de producto, el tamaño de partícula final, el color requerido, etc. Por ejemplo, la pimienta picante se recomienda molerla a -115°C (-175°F) a diferencia de la nuez moscada que por su alto contenido de aceite, requiere de aproximadamente -156.67°C (-250°F). En comparación con el orégano que se muele fácilmente a una temperatura de -6.67°C (20°F).

La cantidad de nitrógeno líquido por libra de especia a moler está relacionada con el tipo de equipo a usar, la temperatura de operación y el tamaño de partícula deseada. Esto es muy relativo para cada caso, ya que son diferentes los requerimientos, así como las condiciones de operación, por lo que hay que adecuarse a las diversas circunstancias que se presenten.

1.3.2. Criomolienda con bióxido de carbono sólido.

También el bióxido de carbono sólido (CO₂ S) es útil para su empleo en la pulverización de alimentos, así como de otros productos. El CO₂ S evita que el producto se vuelva blando o gomoso durante el proceso de molienda, al reducir la temperatura del producto y del molino. El CO₂ S se puede añadir a cualquier molino, en forma de escamas o nuggets, por lo cual es recomendable el contar con un pulverizador de hielo (actualmente los proveedores lo expenden en nuggets si se requiere), el CO₂ S se añade a razón de 1:5 (5 partes de producto por una de CO₂ S), y en casos extremos de 1:1 (una parte de producto por una de CO₂ S).

Debe tenerse en cuenta que cuanto más tiempo esté el producto a baja temperatura mayor será la condensación de humedad atmosférica, esto puede ser un inconveniente en el caso de ciertos productos químicos o alimenticios mientras que en otros, de acuerdo a su higroscopía, no tiene ninguna importancia. 2

Para el caso específico de la experimentación se determinó que la geometría de las especias era un factor importante para obtener una transferencia de calor efectiva, ya que las especias de forma esférica, como la semilla de apio, la semilla de cilantro y la nuez moscada, presentan mejor transferencia de calor por su mayor área de contacto, en comparación con la canela que tiene forma laminar y dificulta la transferencia de calor. El bióxido de carbono, comparado con el nitrógeno tiene varias ventajas y desventajas, tanto de precio, obtención, capacidad de absorción del calor, etc., pero para ver cual es más conveniente para su utilización habría que realizarse un estudio sobre las posibilidades de la empresa, la facilidad de adaptación del equipo, la cantidad de producto procesado, etc.

Complementando lo anterior se puede mencionar que el CO₂ S representa una disminución del 50 al 75 % en el costo en comparación con los métodos mecánicos de congelación; esto es porque la congelación mecánica implica instalación y mantenimiento de alto costo, además de la velocidad de enfriamiento (y congelación), así como la regulación de la humedad relativa, entre otros aspectos que se pueden controlar más fácilmente con el hecho de mantener el producto mezclado con el CO₂ S. Ahora bien, al comparar la capacidad de enfriamiento entre el nitrógeno y el CO₂ S, -320°F y -109°F respectivamente, y por otra parte sus costos, se ha determinado que el CO₂ S ofrece un precio 45 % más bajo que el nitrógeno en su producción de BTU's, y esto al aumentarle los costos de transporte y de instalaciones, la diferencia se amplía aún más.²⁴

Otra característica a favor del CO₂ S es el hecho de que su manejo es más fácil, por menos riesgoso, que el de el nitrógeno líquido. Por su facilidad para conseguirlo, la criomolienda para esta investigación se llevó a cabo con bióxido de carbono sólido (CO₂ S), con esto se puede definir que la transferencia de calor, en este caso, se realiza por conducción, por lo cual se debe tener especial cuidado en que al mezclar el CO₂ S con las especias sea lo más homogéneo posible con la intención de obtener un enfriamiento efectivo.

CAPITULO 2 METODOLOGÍA

2. Cuadro metodológico

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficacia de dos tipos de molienda (convencional y criogénica), contrastando las características fisicoquímicas y granulométricas de cuatro especias molidas por ambos métodos, para establecer las ventajas y desventajas de la criomolienda

Objetivo particular 1

Establecer las condiciones de operación para la molienda y criomolienda de especias para su posterior análisis.

Actividad 1.1.

Caracterización de la muestra
Cantidad, número de muestras, tipo de especia, contenido de humedad, aceites volátiles iniciales por especia.

V.R. Características f.a. iniciales

Actividad 1.2.

Caracterización del método de congelación con CO₂ S
Determinar la cantidad necesaria de CO₂ S para la congelación de cada especia según las relaciones 1:1, 1:3 y 1:5

V.R. Velocidad de congelación

Actividad 1.3. Molienda convencional

V.I. Tipo de especia, temperatura y peso inicial de muestra
V.D. Temperatura y peso finales del producto

V.R. Temperatura de proceso

Actividad 1.4. Molienda criogénica

V.I. Cantidad de CO₂ S, tipo de especia, temperatura y peso inicial
V.D. Temperatura y peso finales del producto

V.R. Temperatura de proceso

Objetivo particular 2

Analizar la influencia de la congelación criogénica en la distribución de tamaños y características fisicoquímicas (retención de agua y grasa) de cuatro especias molidas por ambos tipos de molienda.

Actividad 2.1.

Análisis granulométrico
V.I. Tipo de muestra y número de mallas.
V.D. % de retención
V.R. Distribución de partícula

Actividad 2.2.

Conc. de ac. volátiles
V.I. Tipo de muestra
V.D. Conc. de ac. total
V.R. Retención de ac. volátiles.

Actividad 2.3.

Cont. de humedad
V.I. Tipo de muestra
V.D. Conc. de humedad
V.R. Retención de la humedad.

RESULTADOS

TRATAMIENTO
ESTADISTICO

CONTRASTACION

CONCLUSIONES

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Descripción de la metodología.

La metodología para la experimentación describe la forma de trabajo para obtener los resultados que nos permitan comparar las características de cada tipo de molienda para con esto, poder plantear las conclusiones. Para este procedimiento se relacionan: molienda, criomolienda, tamizado así como diversos análisis fisicoquímicos y estadísticos planteados.

Para empezar, es importante definir que al realizar la operación de molienda por dos métodos diferentes en cuanto a su temperatura principalmente, se busca minimizar o si es posible eliminar problemas propios de el método comunmente usado durante la operación; estos van desde la dispersión de polvo en el ambiente hasta la limpieza del equipo, junto con otros mencionados en el presente trabajo.

Después de evaluar las ventajas y desventajas de operación, entre molienda y criomolienda, se continúa con una serie de análisis que nos permiten determinar que tan diferentes son los productos obtenidos por cada uno de los tipos de molienda, los análisis que se proponen estan

basados según las especificaciones para los productos de este tipo que determinan su calidad.

Enseguida de molidas las especias (por ambos métodos), se propone un análisis por tamizado que indica el grado de molienda, por distribución de tamaño de partícula. A continuación, se aplican dos análisis fisicoquímicos que indican la calidad de las especias según su contenido de humedad y aceites volátiles como parámetros de la retención que tuvieron de éstos componentes para cada tipo de molienda y por lo tanto de su calidad.

El siguiente paso es analizar estadísticamente los datos de tal forma que nos permiten cuantificar las diferencias que se presenten entre las cualidades de cada una de las especias molidas con respecto a sus contraparte criomolidas; para así obtener la información suficiente para evaluar la efectividad de la criomolienda y la molienda convencional al poderlas comparar.

2.1. Objetivo General

Evaluar la eficacia de dos tipos de molienda (convencional y criogénica), contrastando las características fisicoquímicas y

granulométricas de cuatro especias molidas por ambos métodos para establecer las ventajas y desventajas de la criomolienda.

2.2. Objetivo particular 1

Establecer las condiciones de operación para la molienda y criomolienda de especias para su posterior análisis.

2.2.1. Actividad 1.1. Caracterización de la muestra.

Especificar cantidad, número de muestras, tipo de especias, contenido de humedad y aceites volátiles iniciales por especia.

En esta actividad se busca especificar el tipo de especias a utilizar, y su cantidad, número de las muestras así como sus características fisicoquímicas como una forma de control de la materia prima.

Las especias seleccionadas fueron:

Semilla de apio (*Apium graveolens* L.)

Canela - Cassia de Ceilán (*Cinnamomum zeylanicum* N.)

Semilla de cilantro (*Coriandrum sativum* L.)

Nuez moscada (*Myristica fragrans* Houtf)

Con base a las condiciones de operación del equipo de molienda experimental y a los analisis requeridos, la cantidad necesaria por especia será:

2 Kg de cada una para molienda convencional

2 Kg de cada una para molienda criogénica

½ Kg de cada una pruebas preliminares

Total 4 ½ Kg de cada especia

2.2.2. Actividad 1.2. Caracterización del método de congelación con CO₂ S.

Determinar la cantidad necesaria de CO₂ S para la congelación de cada especia.

Para llevar a cabo esta actividad se realizó un estudio con el fin de controlar la congelación de las especias de acuerdo a su composición con dos propósitos, primero determinar la temperatura adecuada para cada especia para su congelación y segundo, emplear la mínima cantidad de

CO₂ S por especia. La variable de respuesta es la velocidad de congelación para cada especia.

La actividad consiste en probar las relaciones recomendadas por la empresa que surtió el hielo seco para la molienda de especias y que varían entre una parte de producto y una de CO₂ S (en casos extremos) hasta cinco partes de producto por una de CO₂ S. Para la experimentación se propusieron tres relaciones que fueron 1:1, 1:3 y 1:5. Con el fin de tener un punto intermedio que nos permitiera un control más adecuado de la temperatura, además por su composición, las especias seleccionadas requirieron de diferentes temperaturas de proceso, en función a su contenido de grasa (Braton 1980).

Relacionando las referencias bibliográficas (la temperatura de criomolienda para especias con contenido graso de 30 % es de -156° C, y para especias con 7 % de grasa la temperatura es de -6.67° C) y con los datos de contenido de grasa reportados en los Cuadros 2, 7, 12 y 17 se propusieron las siguientes temperaturas para la criomolienda de las especias (Cuadro 23).

Cuadro 23.- Temperaturas propuestas para la criomolienda de las especias seleccionadas según su contenido graso.

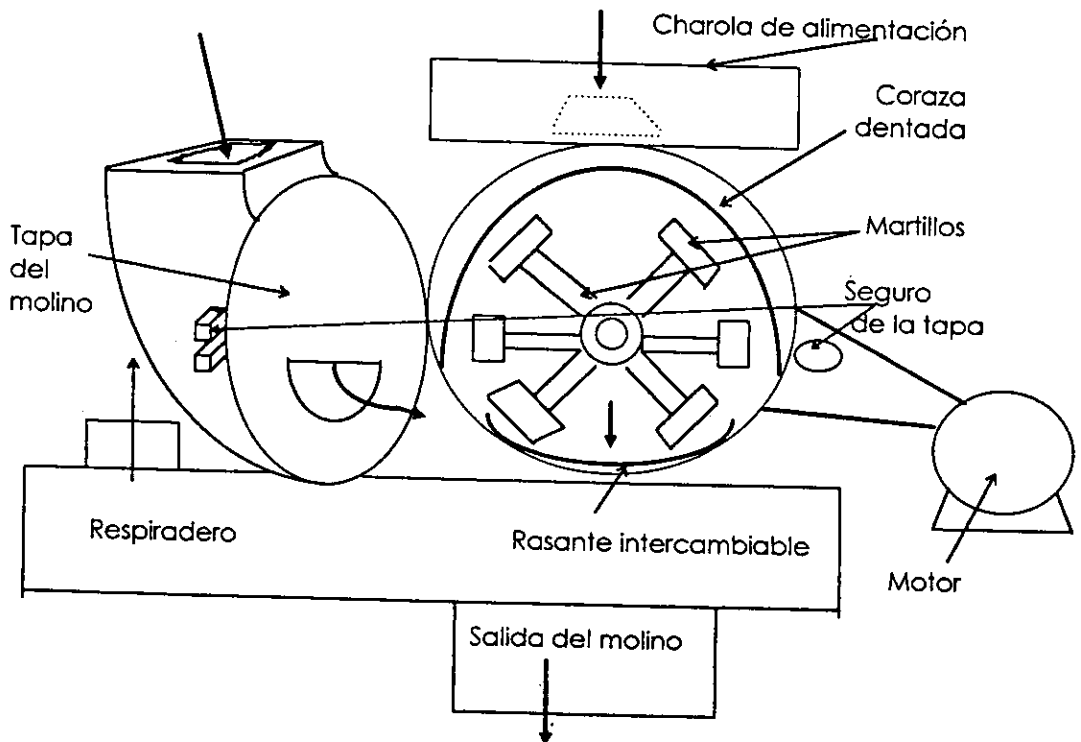
ESPECIA	% DE GRASA	TEMP. PROPUESTA
Semilla de apio	12 %	-40° C
Canela	3.2 %	-20° C
Semilla de cilantro	12 -20 %	-40° C
Nuez moscada	30%	-75° C

2.2.3. Actividad 1.3. Molienda convencional.

Esta actividad se realizó de acuerdo a las condiciones normales de operación de la molienda, las variables independientes (V.I.) son: Tipo de la especia, su temperatura y peso inicial. Las variables dependientes (V.D.) son: Temperatura del proceso, peso y temperatura final del producto, además se realizó un análisis granulométrico para determinar la distribución de partícula del producto en un agitador de mecánico Ro-Tap equipado con cedazos o tamices prescritos por la especificación requerida (Figura 6). La variable de respuesta es la temperatura de proceso.

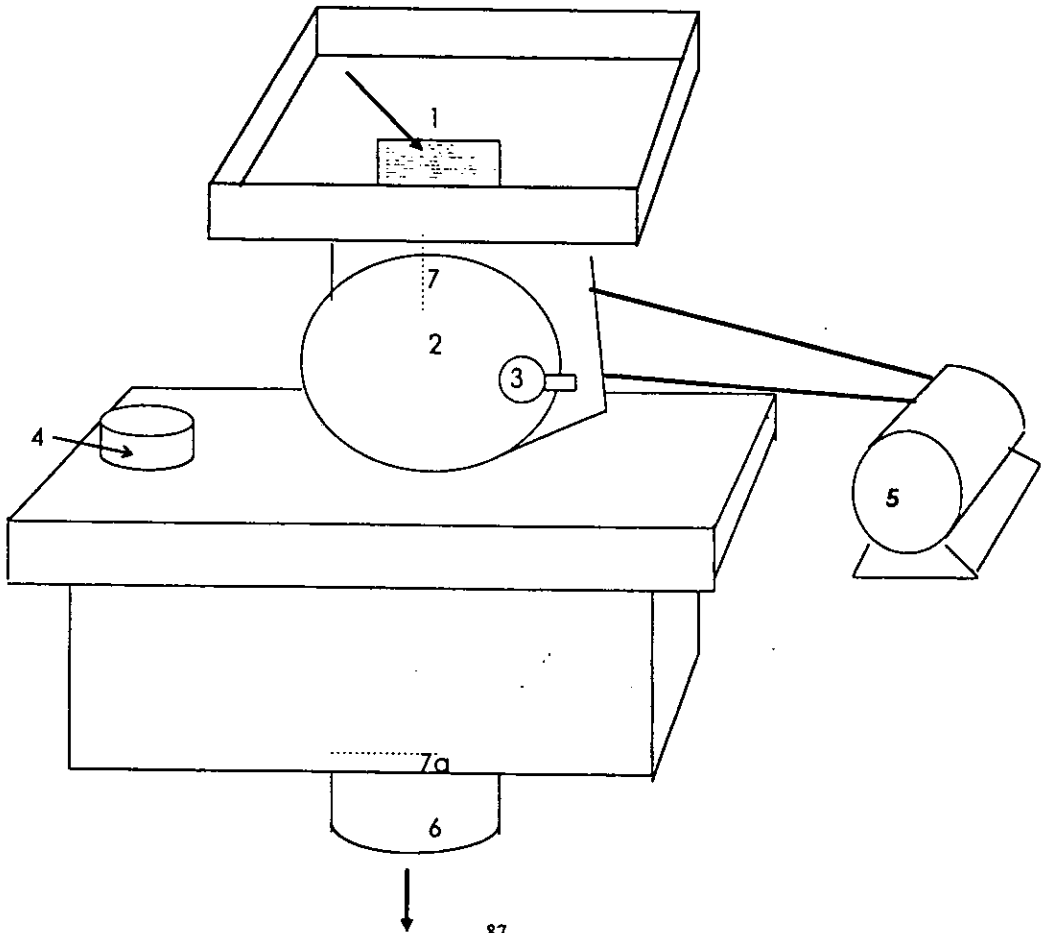
Para la molienda se utilizó un molino piloto de 6 martillos con coraza dentada, equipado con un motor marca Siemens tipo RGZ , con una capacidad de 3 HP similar al mostrado en las figura 7 y 8 (la figura 7 representa al molino abierto y la figura 8 al molino cerrado).

Figura 7.- Molino piloto de martillos.



De acuerdo a la figura 7, la charola de alimentación sirve para retener la especia antes de molerla (las flechas más oscuras indican la trayectoria de la especia durante la operación) y tiene una abertura con una puerta corrediza que permite la dosificación de la materia prima al molino, esta puerta corrediza está dirigida directamente a la tapa que tiene un canal por donde pasa la especia hacia los martillos(1 en figura 8).

Figura 8.- Molino piloto de martillos.



Los martillos giran en sentido contrario a los dientes de la coraza triturando lo que llega impulsados por el motor (5 figura 8) conectado a través de una banda. Es importante mencionar que la tapa se cierra con el seguro de tal forma que le impide abrirse durante la operación.

La fricción generada entre el martillo y las paredes muelen la especia como ya se mencionó y ésta sale por el rasante. El rasante es intercambiable de acuerdo a la especia y al tipo de molienda que se requiera, esto es, si la especia es "blanda", como en el caso de la semilla de apio, la canela y la semilla de cilantro, se ocupó un rasante de abertura pequeña, en cambio para la nuez moscada el rasante fue de abertura mas grande por la consistencia de esta especia, en resumen el rasante determina el tamaño más grande de partícula molida.

El respiradero (figura 7) sirve como salida de alivio para el aire absorbido durante la molienda, y se le coloca una bolsa de manta la cual tiene como función el permitir la salida del aire y retener el polvo de la especia molida arrastrado por la fuerza del mismo aire.

Para la molienda, de acuerdo con las figuras 7 y 8 se siguieron los siguientes pasos:

1.- Primero, se coloca el rasante adecuado según el tipo de especia a moler y la molienda requerida, se atornillan los martillos y el rasante teniendo cuidado de que estén en buena posición.

2.- Se cierra la tapa del molino (2) atornillando bien el seguro del molino (3).

3.- Se amarran la bolsa del respiradero (4) y una bolsa de plástico a la salida del molino (6), la bolsa a la salida del molino deberá ser lo suficientemente grande para que resista la fuerza del aire expulsado por el molino y recibir la cantidad de especia a moler.

4.- A continuación se coloca la especia a moler en la charola de alimentación (1) y se enciende el motor (5).

5.- Enseguida se abre la compuerta de la charola de alimentación (1) para dosificar la especia hacia el molino según se observe durante la operación.

6.- Las temperaturas de entrada y salida se registran con los termopares 7 y 7a (Figura 8), colocados antes y después de la trituración.

7.- Después de la molienda se apaga el motor y se abre el molino para limpiarlo teniendo cuidado de eliminar todo residuo de polvo que pueda contaminar otros productos, para esto el rasante y los martillos se destornillan y se sacuden perfectamente, si es necesario se lavan y se secan cuidadosamente para el uso posterior del equipo.

2.2.4. Actividad 1.4. Molienda criogénica.

Para esta operación se molerá cada especie en combinación con la cantidad de CO₂ S que se haya determinado en las actividades preliminares las V.I. son: Cantidad de CO₂ S necesaria para cada especie, tipo de especie, temperatura y peso inicial. Las V.D. son: Temperatura de proceso, temperatura final del producto y peso final del producto. Al igual que en la actividad anterior, la V.R. será la temperatura de proceso.

Para la realización de la criomolienda se seguirán los mismos pasos que para la molienda convencional, con las variantes de que en el paso 4 se coloca la especie con la cantidad de CO₂ S necesaria según su cantidad y la relación que le corresponda por su tipo (Cuadro 24).

Cuadro 24.- Relaciones CO₂ S -especia para la criomolienda

Especia	Relación CO ₂ S -esp.
Semilla de apio	3 : 1
Canela	1 : 1
Semilla de cilantro	3 : 1
Nuez moscada	1 : 1

En el paso 5 para la criomolienda, se realizó tanto la dosificación así como un control sobre la temperatura del proceso. Para esto se llevó a cabo la siguiente actividad, se pusieron dos termopares en el molino, el termopar 1 se colocó a la entrada del molino (7 fig. 8) y el termopar 2 a la salida del mismo (7a fig. 8), así en caso de un aumento de la temperatura durante la operación, detectado por el termopar 1 se agregó una cantidad suficiente de CO₂ S para disminuirla directamente a la alimentación del molino, el termopar 2 tiene como función el registrar la temperatura de la especia después del molido.

2.3. Objetivo particular 2

Analizar la influencia de la congelación criogénica en la distribución de tamaño de partícula y las características fisicoquímicas (retención de agua y aceites volátiles) de cuatro especias obtenidas por ambos métodos de molienda.

Para este objetivo se obtuvieron los parámetros necesarios para comparar las características de los productos de la molienda convencional y la criomolienda. Para esto se tomaron en cuenta los análisis más importantes aplicados las especias según las especificaciones que se manejan en su producción, "Método de determinación de aceites volátiles en corrientes de vapor e insolubles en agua" y "Determinación del contenido de agua por destilación con disolventes".

Es importante hacer mención de que cada uno de los análisis propuestos, son los apropiados para las especias (según la ASTA), son determinaciones sencillas y que sirven como parámetro de la calidad de las especias.

2.3.1. Actividad 2.1. Análisis de distribución de partícula.

Como se mencionó al principio de este capítulo, se realizó un análisis para determinar la distribución de partícula de cada una de las especias seleccionadas, para esto se necesita primero de un tamizado, realizado con la ayuda de un agitador mecánico Ro-Tap (Figura 6), ya que es el equipo recomendado para el análisis de este tipo de polvos.

Después de tamizadas las especias, y registrado su comportamiento en los tamices señalados en los cuadros 3, 8, 13 y 18, se relaciona su retenido de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2 , que son las indicadas para este equipo, con el fin de calcular su rendimiento.

El análisis granulométrico se realiza según el siguiente procedimiento.¹⁶

-Equipo y materiales.

Agitador mecánico Ro-Tap (Figura 6)

Equipo de cedazos o tamices patrón prescritos por la ASTA

Balanza granataria de precisión de 0.1 g

Muestra de 100 g de especia molida

-Procedimiento.

Se disponen los tamices en orden, con el de la malla más fina abajo como se muestra en la Figura 6. Colocar la muestra sobre el cedazo superior, tápese el dispositivo y agítese en el Ro-Tap durante 4 minutos. Para materiales que tienden a conglomerarse la prueba se puede realizar adicionando el 1-2 % de antiapelmazante en la muestra a analizar. Dependiendo de la especificación, pésese el retenido de cada tamiz (+) o lo que pasa a través del mismo (-), y exprese el resultado en porcentaje.

Para éste procedimiento, se recomienda que las muestras sean de 100 gr y los tamices empleados con las mallas 20, 30, 40, 60, 80 y 100 respectivamente, para las especias en polvo.

Para determinar la distribución de partícula por especie, los resultados de cada análisis se grafican, obteniéndose las curvas que nos permitan analizar el comportamiento de distribución de tamaño de partícula.

2.3.2. Actividad 2.2. Concentración de aceites volátiles.

El cálculo de porcentaje de aceites volátiles en cada especia es importante, por el hecho de que estos componentes son los encargados de proporcionar las características funcionales de las especias, es decir su olor, aroma y sabor propios.

Este análisis es relativamente sencillo y fué desarrollado por Richardson, de la U. S. Division of Chemistry, en 1887 y aparece todavía en los *Official Methods* de la AOAC 22.

El método de destilación de aceites volátiles en corrientes de vapor, deriva de la aparición de los traps de destilación ideados por J. F. Clevenger en 1928. Para el análisis de sus características físicas y químicas hay que sacar el aceite del trap. Este método fué adoptado por la AOAC en 1934 tras haber acumulado Clevenger numerosos datos sobre especias auténticas y tras haberlo sometido a pruebas severas. Entre 1934 y 1942, Clevenger acumuló nuevos datos sobre 20 especias y supervisó estudios colaborativos sobre su método, que fueron publicados por aquellos años en el *J. Assoc. Offic. Chemists*.

N. Aubrey Carson, como coordinador asociado, mejoró el aparato original de Clevenger de numerosos modos. Los estudios colaborativos de Carson fueron publicados en el *J. Assoc. Offic. Agr. Chemists.* durante el periodo 1950-1959. Constituyen la base del presente método de la AOAC y de uno de los métodos de la ASTA.

Lee y Ogg simplificaron los dos traps de Clevenger haciendo intercambiables las porciones graduadas con el adaptador. El método de Lee y Ogg ha sido adoptado como un método oficial alternativo por la ASTA y es el empleado más comunmente, como en el caso de este trabajo 22. La V.I. es el tipo de muestra por peso y especia, así como el origen del producto ya sea molido ó criomolido. La V.D. es el contenido total de aceite. De acuerdo a la cantidad inicial de aceite y la diferencia en el aceite del producto, se obtendrá la V.R. , que es la retención de aceites volátiles.

-Equipo y materiales.

Trap para aceite volátil tipo Clavenger. Tipo A para aceites más ligeros que el agua. Tipo B para aceites más pesados que el agua 24/40

Matraz Erlenmeyer de fondo plano de 1 lt 24/40

Refrigerante 24/40

Parrilla eléctrica

Muestra de 20 g de especia

-Procedimiento.

Transfírase la muestra en el matraz Erlenmeyer, añádanse 500 ml de agua destilada y un agente antiespuma. Colóquese el matraz sobre la parrilla eléctrica, acóplese el refrigerante y el trap adecuado lleno de agua destilada (similar a la figura 9). Destílese a una velocidad de 1-2 gotas por segundo hasta que dos lecturas consecutivas efectuadas con intervalos de una hora no muestren cambio alguno en el volumen del trap.

Si el aceite se separa en dos fracciones de distinta densidad, añádase 1 ml de xileno medido con precisión de 0.01 ml. Enfríese y léase el volumen del aceite recolectado con una precisión de 0.02 ml, efectuando la corrección oportuna teniendo en cuenta el volumen de xileno añadido si fuera necesario, el resultado se expresa en porcentaje de aceite volátil según la siguiente relación: 22

$$\frac{(VA - VX)}{M} \times 100 = \% \text{ de aceite volátil}$$

En donde: VA = Volumen de aceite volátil recolectado (ml)

VX = Volumen de xileno añadido (ml)

M = Peso de la muestra (gr)

2.3.3. Actividad 2.3. Retención de humedad.

Existen diferentes técnicas para determinar el contenido de humedad en los alimentos en general, pero, por las características propias de las especias y por los datos reportados acerca de su composición 22; el porcentaje de humedad en este tipo de productos se calcula por el método de "Determinación del contenido de agua por destilación con disolventes". Es importante mencionar que el disolvente empleado será tolueno según las indicaciones de la ASTA, y además que este tipo de análisis está diseñado para especias molidas 22.

La V.I. se considera igual que la anterior actividad, el tipo de muestra por peso y especia. La V.D. es en este caso la cantidad de humedad del producto. La V.R. será la retención de la humedad de acuerdo a la diferencia de humedad entre la materia prima y el producto.

-Equipo y materiales

Parrilla eléctrica

Trampa par humedad Bidwell-Sterling 24/40

Refrigerante 24/40

Matraz Erlenmeyer de fondo plano de 250 o 500 ml 24/40

Balanza granataria de precisión de 0.1 g

Muestra de 10 a 40 g de especia

100 ml de solvente (tolueno)

-Procedimiento

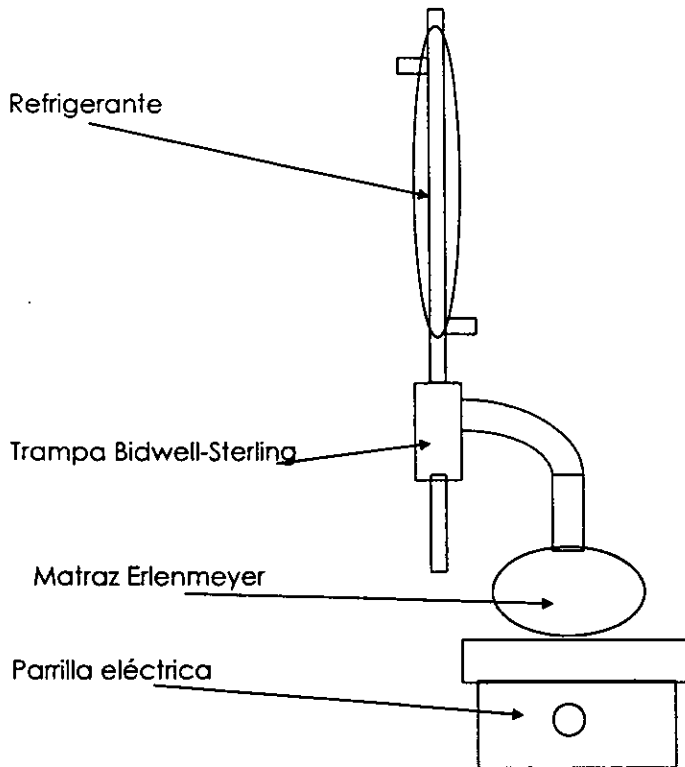
Colóquese la muestra en el matraz Erlenmeyer, y enseguida se agrega el tolueno. Montar los aparatos de acuerdo a la Figura 9. Calentar el matraz con la muestra durante 2 hrs teniendo cuidado del reflujó y que el refrigerante funcione adecuadamente. Después de transcurrido este tiempo déjese enfriar el equipo y tomar el volumen de humedad que se haya recolectado en la trampa Bidwell-Sterling y calcular el porcentaje de humedad de acuerdo a la siguiente relación:

$$(V / M) \times 100 = \% \text{ de humedad}$$

En donde: V = Volumen de agua retenido en la trampa (ml)

M = Peso de la muestra (g)

Figura 9.- Equipo para determinar humedad.



• 2.4. Tratamiento estadístico.

El tratamiento estadístico es una herramienta útil en cualquier investigación, ya que nos auxilia para poder cuantificar resultados, que al interpretarlos nos permiten observar más claramente el comportamiento de las variables durante el proceso que nos interese. Por el tipo de datos que se manejan durante el presente trabajo, el tratamiento indicado es el conocido como coeficiente de variación.

También conocido como coeficiente de dispersión, es una manera de medir la variación absoluta de los datos, generalmente expresado en porcentaje de la variación, es adimensional y por lo tanto independiente de las unidades, lo que lo hace útil para comparar distribuciones donde las unidades pueden ser diferentes. En resumen este análisis sirve para determinar la relación entre dos conjuntos de datos.

Para que el tratamiento estadístico sea confiable, se realizan los análisis por cuadruplicado, además se ordenan de tal forma que sean lo más fácil de comprender y así poder concluir lo más cercano a la realidad. Por supuesto que antes de concluir, en este caso hubo que comparar los resultados de los análisis estadísticos aplicados a cada especie molida con respecto de los resultados de las especias que se criomolieron de acuerdo a los resultados del tratamiento estadístico.

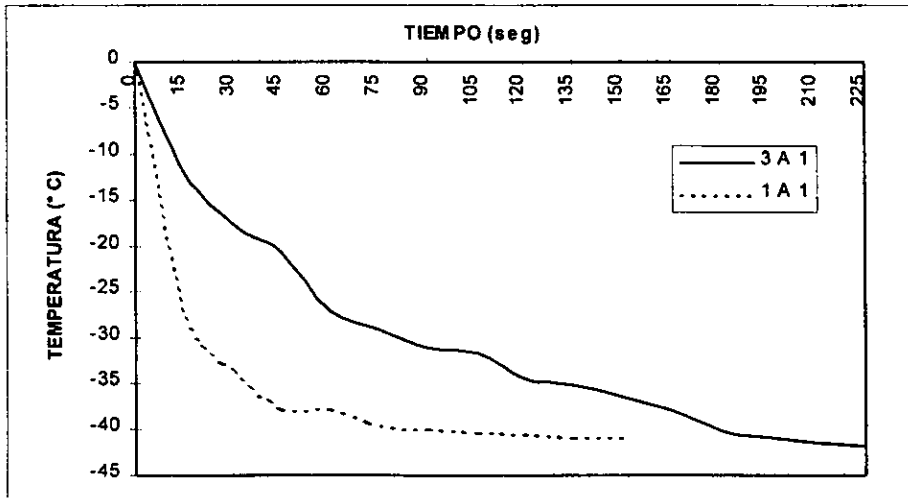
CAPITULO 3

ANALISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS

3.1. Determinación de las relaciones de CO₂ S - especia para la criomolienda.

La determinación de la cantidad de CO₂ S fué muy importante, ya que de estos resultados dependió directamente la temperatura de la criomolienda, así como su velocidad de congelación, además durante esta experimentación se observaron diversos problemas que se explicarán a continuación.

Enseguida se presentan las gráficas que representan el comportamiento de las especias al variar la cantidad de CO₂ S para alcanzar la temperatura necesaria para su proceso de acuerdo a las condiciones antes mencionadas.

Figura 10.- Relaciones de CO₂ S para el enfriamiento de la semilla de apio.

Si tomamos en cuenta que este es el periodo de enfriamiento, cinco minutos son suficientes para alcanzar la temperatura deseada y la operación no se entorpece.

De acuerdo a la Figura 10 podemos observar que al establecer la relación 1 : 1 para la semilla de apio, el tiempo de congelamiento es mucho más corto con respecto a la relación 3 : 1, sin embargo se eligió trabajar con la segunda relación ya que se consideró que 5 minutos para el enfriamiento son suficientes, además de que se economizará en la cantidad de CO₂ S.

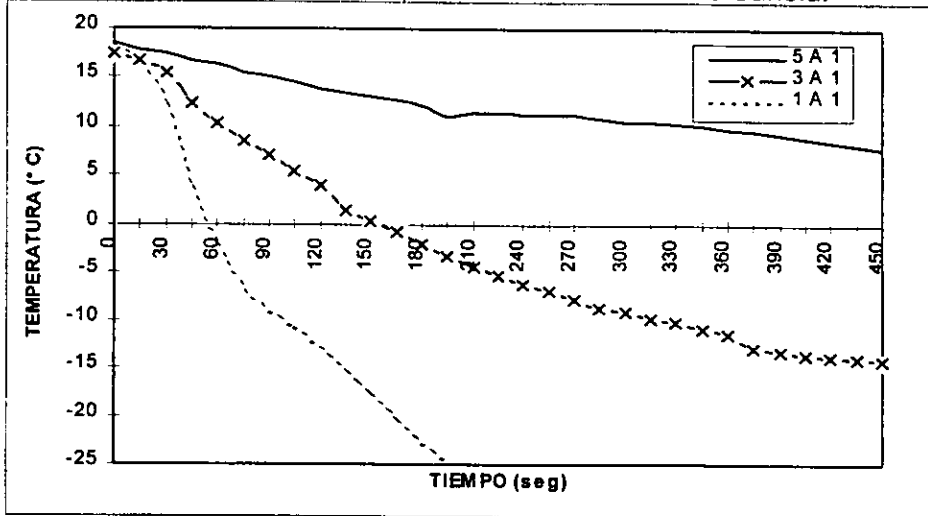
Además de lo anterior se puede agregar que sus pendientes difieren bastante (Cuadro 25). Esto es, en la curva de la relación 3 : 1, la pendiente indica que la curva es menos inclinada con respecto a la curva de enfriamiento con la relación 1 : 1 y por lo tanto el enfriamiento fué más rápido en el segundo caso, cabe indicar que las pendientes se calcularon desde el principio hasta - 40° C, que es la temperatura propuesta para criomoler la semilla de apio.

Cuadro 25.- Pendientes y velocidades de congelación para la semilla de apio

Relación	Pendiente	Vel. de cong. (°C/hr)
3 : 1	- 0.1856	876
1 : 1	- 0.2866	984

Además de las pendientes, al comparar las velocidades de congelación para cada una de las relaciones (Cuadro 25), se puede observar que con una relación de 1 : 1 el resultado es mucho mejor.

Como ya se comentó, la semilla de apio tiene una forma geométrica esferoide que permite un enfriamiento homogéneo y por lo tanto eficaz. Por su contenido graso (25.3 %₁₂) se criomolerá a -40° C.

Figura 11.- Relaciones de CO₂ S para el enfriamiento de la canela.

Para el enfriamiento de la canela surgieron diversos problemas ya que por su contenido graso (3.2 %₁₂) se determinó que con una temperatura de -20° C se puede llevar a cabo una buena molienda, y por lo tanto que con la mínima relación (5 : 1) se alcanzara esta temperatura, sin embargo no sucede así.

Como se puede observar en la figura 11 al enfriar con la relación 5 : 1 se requiere de bastante tiempo y la temperatura no disminuye de acuerdo a lo esperado, por lo cual se procedió a aumentar la cantidad de CO₂ S con la relación intermedia 3 : 1 pero tampoco en este caso fué suficiente

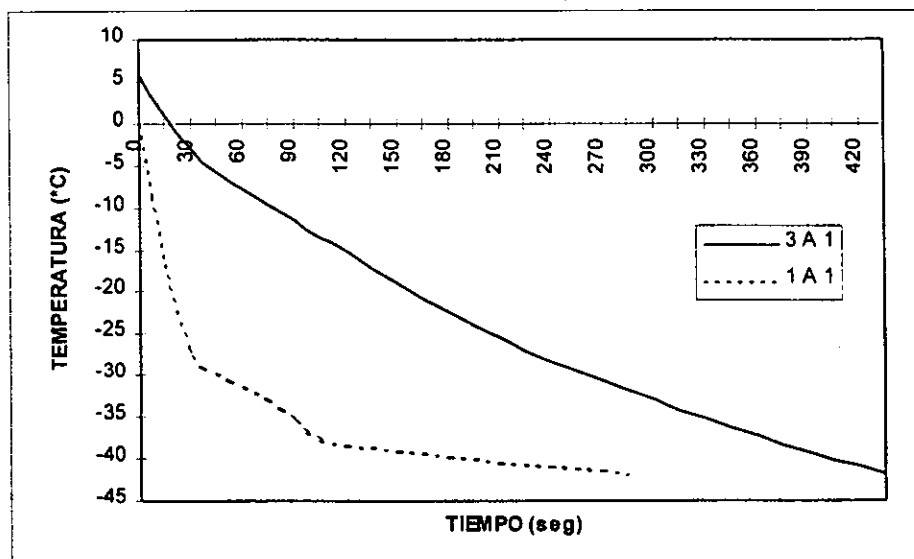
la temperatura a la que se llega, con la relación 1 : 1 el enfriamiento es efectivo en cuanto a tiempo y temperatura, además de que, apoyándose en los resultados de las pendientes (Cuadro 26) se puede observar que la tendencia de enfriamiento es mucho mayor en la relación 1 : 1 con respecto a las otras relaciones. En éste caso las pendientes se calcularon desde temperatura ambiente hasta una temperatura igual a -20°C .

Cuadro 26.- Pendientes y velocidades de congelación de la canela.

Relación	Pendiente	Vel. de cong. ($^{\circ}\text{C}/\text{hr}$)
5 : 1	- 0.0359	130.29
3 : 1	- 0.0713	241.71
1 : 1	- 0.2421	740.57

La explicación para el problema de congelar la canela fue que, por la forma geométrica de la misma (laminar), se dificulta una transferencia tridimensional homogénea del calor ¹⁴, haciendo que el enfriamiento no se lleve a cabo aceptablemente con poca cantidad de CO_2S y por lo tanto se tenga que utilizar una relación 1 : 1 que garantiza el mayor contacto posible entre la canela y el CO_2S obteniendo un enfriamiento adecuado para la criomolienda con la relación mas alta.

Figura 12.- Relaciones de CO₂ S para el enfriamiento de la semilla de cilantro

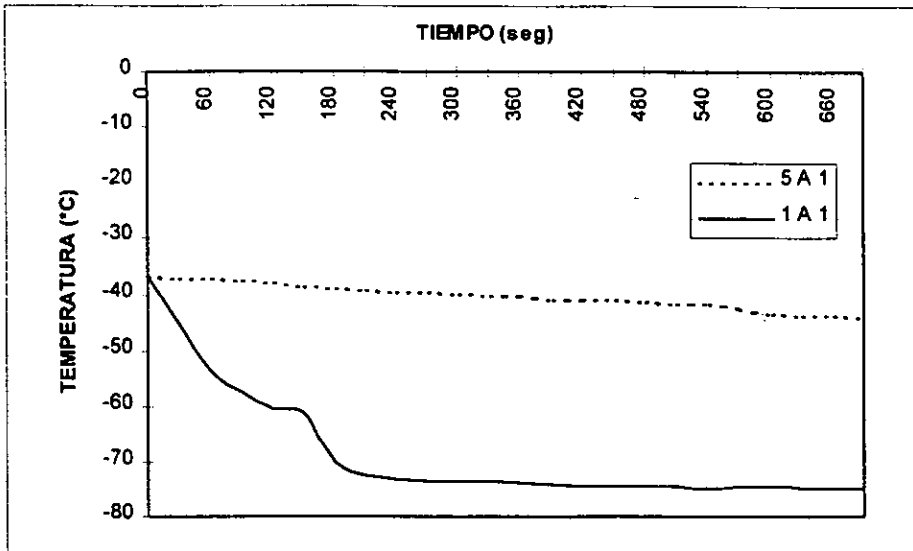


Al igual que la semilla de apio, la semilla de cilantro presenta una forma geométrica esférica, y un contenido de grasa de 17.8 % ω , por lo cual se consideró para molerla una temperatura de -40° C para obtener un producto de buena calidad con sus componentes originales. Para este caso según el comportamiento registrado en la Figura 12 podemos observar que aunque la relación 1 : 1 nos da un comportamiento satisfactorio, la relación 3 : 1 nos proporciona las condiciones adecuadas de enfriamiento en cuanto a temperatura, tiempo y cantidad de CO₂ S necesario.

Cuadro 27.- Pendientes y velocidades de congelación para la semilla de cilantro.

Relación	Pendientes	Vel. de cong. (°C/hr)
3 : 1	-0.1045	474.95
1 : 1	-0.1467	526.74

Las pendientes mostradas en el Cuadro 27 presentan una variación mínima, pero por otro lado si comparamos sus velocidades de congelación, la diferencia es más notoria y por lo tanto se puede afirmar que la selección de la relación 3 : 1 es la adecuada, las pendientes se midieron desde temperatura ambiente hasta una temperatura de -40°C al igual que las velocidades de congelación.

Figura 13.- Relaciones de CO₂ S para el enfriamiento de la nuez moscada.

Al criomoler la nuez moscada se busca el que se fragilice su estructura facilitando su molienda al disminuir el trabajo efectuado por el molino, además de que la grasa al estar congelada no obture el equipo y la especia molida la conserve.

La nuez moscada tiene el contenido más alto de grasa de las cuatro especias seleccionadas (30-35.3 % 10 y 12), lo que implica una rápida obturación del molino aparte de una gran pérdida de componentes además de que la nuez presenta una consistencia fuerte que dificulta la operación durante la molienda convencional, por lo cual fué necesario el disminuir la temperatura lo más posible, o sea igualarla hasta -75° C que es la temperatura del hielo seco.

Se intentó aprovechar el que tiene forma geométrica esferoide y utilizar la menor cantidad de CO₂ S con la relación 5 : 1, sin embargo la temperatura aunque si disminuyó, no fue significativamente (Figura 13), por lo cual se optó por emplear la relación 1 : 1, la cual dió buen resultado para su enfriamiento por el tiempo y la temperatura alcanzados. Además de que al revisar las pendientes (Cuadro 28) se observa que la diferencia es mas de tres veces mayor.

Cuadro 28.-Pendientes y velocidades de congelación para la nuez moscada.

Relación	Pendientes	Vel. de cong. (°C/hr)
5 : 1	- 0.0102	38.73
1 : 1	- 0.0389	216.55

Como se puede observar, el analizar las pendientes de las curvas de congelación es muy importante, ya que facilita la comprensión del comportamiento de las especias al enfriarlas con las relaciones propuestas (Cuadro 24), y permite el elegir la más indicada, y para complementar esto, las velocidades de congelación son útiles en cuanto a que reafirman la elección y para el proceso permiten controlar el tiempo e indirectamente la cantidad de CO₂ S.

Es importante señalar que las velocidades de congelación calculadas en °C/hr están referidas a las temperaturas deseadas y a los tiempos en que se alcanzaron, sin embargo la congelación tiene la limitante, en este caso, de que la temperatura mínima a alcanzarse es de 75°C a la cual el hielo seco se mantiene sólido.

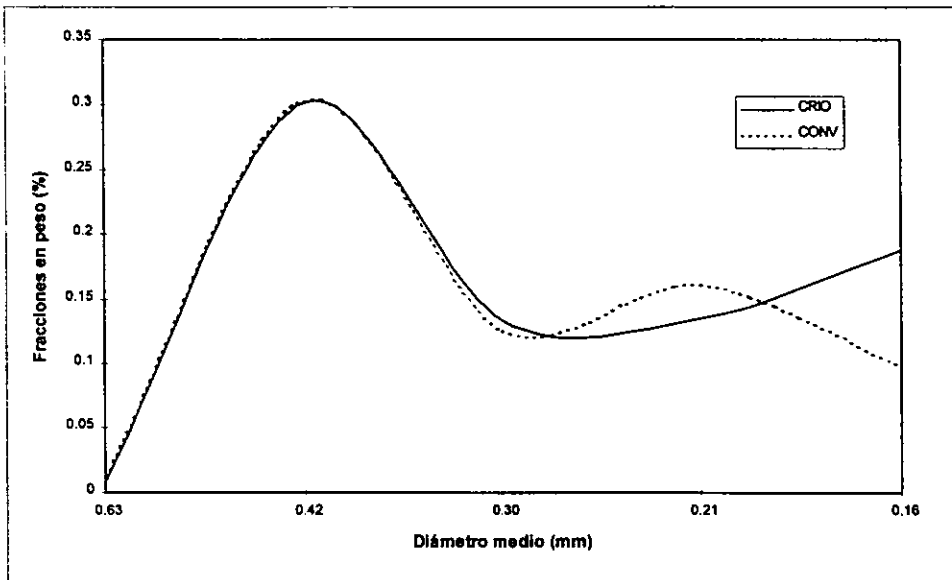
En resumen, el tener registradas las historias térmicas permite tener un control sobre la cantidad de CO₂ S, así como el tiempo requerido para cada caso, y con esto economizar en el uso del refrigerante.

3.2. Distribución de tamaño de partícula de las especias molidas y criomolidas.

Al determinar la distribución de partículas en una muestra dada podemos aplicar varios análisis granulométricos que nos determinen diversas características del producto, sin embargo no es menester de esta investigación el obtener estos resultados. La razón es que para esto se requiere de una cantidad más grande de muestra de la se trabajó para obtener datos significativos, además de que para alcanzar nuestro objetivo, los análisis aplicados son suficientes.

A continuación se presentan las gráficas que representan la distribución de tamaño de partícula para los productos obtenidos comparando las especias molidas y los criomolidas.

Figura 14.- Distribución de tamaño de partícula para el apio molido y criomolido.

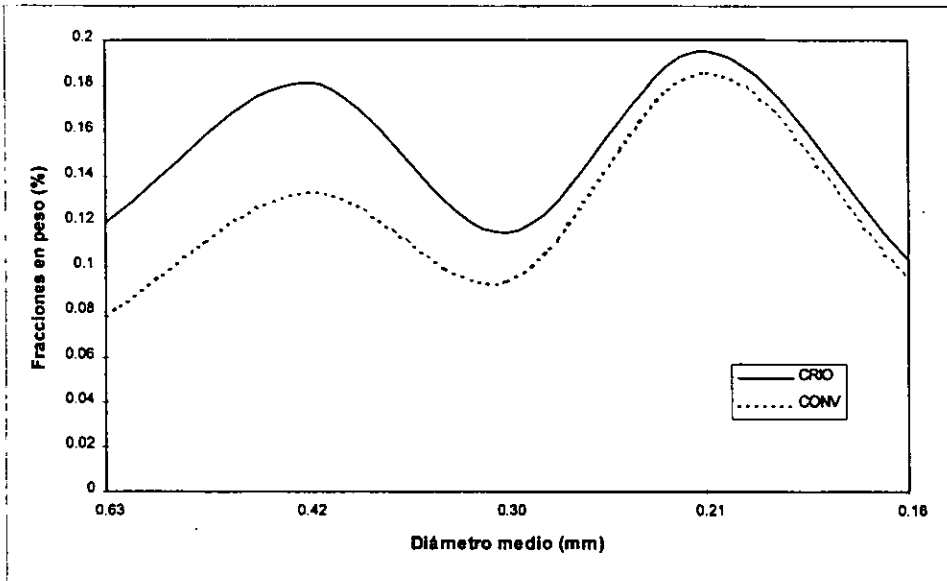


La Figura 14 nos muestra una gráfica que representa el comportamiento de las partículas apio molido, criogénica y convencionalmente a través de las mallas 20, 32, 42, 60, 80 y 100; las partículas acumuladas entre estos cedazos tiene un diámetro promedio que las caracteriza y según sea su proporción en la muestra se reparten en los diferentes niveles del tamizado.

En la primera zona de las curvas (Diámetros medios = 0.63 mm a 0.30 mm), se cuantifican las partículas de mayor tamaño, estas partículas representan las características del material alimentado, ya que el equipo empleado no las pudo moler más, en la segunda zona (Diámetros medios mayores a 0.30 mm hasta 0.16 mm), se encuentran las partículas que determinan las características del equipo de molienda. Como se puede observar en la Figura 14, la especia criomolida permite, aunque en pequeña proporción una molienda más fina.

Ubicándonos de nuevo en la primera zona podemos observar que las fracciones de ambas especias (la molida convencional y la criomolida), son casi idénticas, lo cual indica que para una molienda gruesa, la temperatura no influye de manera significativa, sin embargo si se requiere de una molienda más fina si hay efecto de la temperatura en el producto final gracias a la fragilización de la materia prima.

Figura 15.- Distribución de tamaño de partícula para la canela molida y criomolida

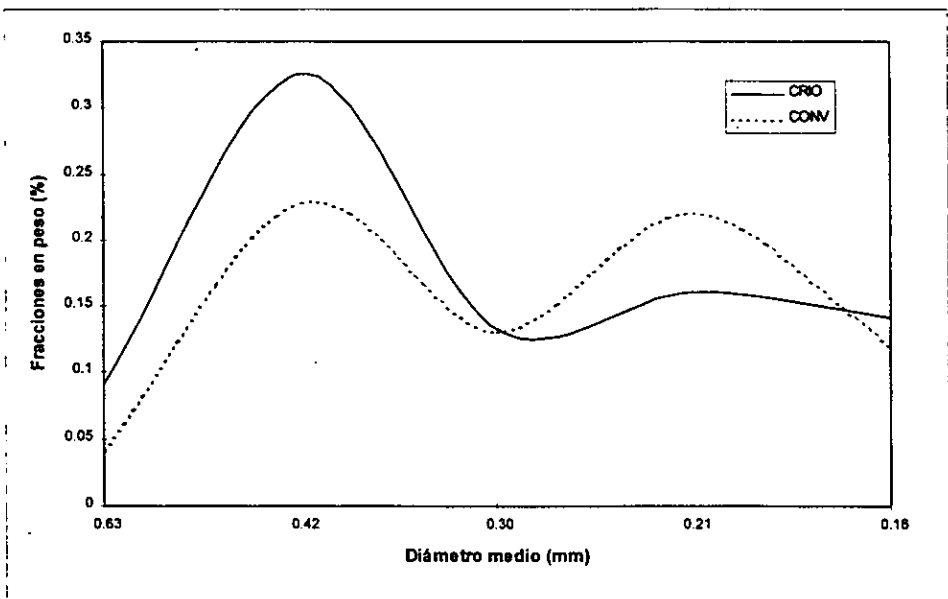


Por la explicación anterior y según se observa en la Figura 15 las partículas de canela criomolida muestran un comportamiento mejor que las molidas convencionalmente.

Como podemos observar en la Figura 15, en la primera zona por ejemplo, aunque el comportamiento es similar la tendencia es que la fracción en peso de las partículas criomolidas es mayor que las molidas criogénicamente, para la segunda zona, la influencia de las características del equipo sobre el tamaño de partícula mantienen la tendencia de un mayor porcentaje de partículas criomolidas que las molidas por el método

tradicional, por lo cual aquí la influencia de una baja temperatura es más marcada que en el caso de la semilla de apio.

Figura 16.- Distribución de tamaño de partícula para la semilla de cilantro molida y criomolida

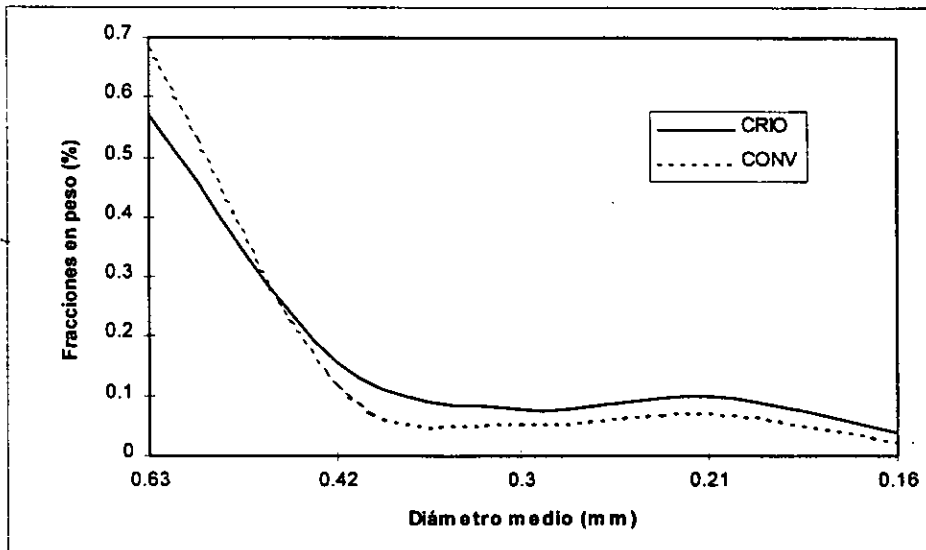


Para la semilla de cilantro el comportamiento (mostrado en la Figura 16), se explica de la siguiente manera, las partículas criomolidas acumuladas en la primera zona son de mayor proporción que las molidas convencionalmente, lo cual se debe a que no se molieron como se esperaba, esto fué debido a que al estar congelada la especia se fracturó

de tal forma que pasó más rápidamente la criba impidiendo su mayor trituración, por otra parte, la semilla de cilantro molida por el método tradicional presenta una distribución tal que el material alimentado y el equipo de molienda no tuvieron una relación marcada.

Por lo anterior se debe tomar en cuenta que si se sobrepasa el enfriamiento de una especia esto en lugar de darnos un resultado satisfactorio puede afectar el propósito inicial.

Figura 17.- Distribución de tamaño de partícula para la nuez moscada molida y criomolida



En la Figura 17 se muestra un comportamiento bastante diferente a las anteriores, esto se debe a que la nuez moscada tiene una estructura bastante más dura y el contenido de grasa más alto de las especias seleccionadas (30 - 35.3% 10 y 12), por lo cual la tendencia inicial en el diámetro medio de 0.63 mm es mayor para ambos casos de molienda, en comparación con el resto de los diámetros, ya que la zona inicial, como ya se mencionó, indica las características del material alimentado.

En la segunda zona, que indica las características del equipo, se observa una variación en el comportamiento de la curva inicial, esta variación comprende un incremento de la fracción de partículas criomolidas sobre las molidas convencionalmente, lo cual implica que la disminución de la temperatura contribuye a un mejor proceso de molienda, ya las partículas "finas" molidas criogénicamente están presentes en mayor proporción que las otras.

Como complemento de el análisis de distribución de partículas se determinó el calcular el rendimiento para cadauno de los casos estudiados:

El rendimiento en una molienda determina si la operación fué llevada a cabo efectivamente o nó, de acuerdo a los requerimientos (en

este caso fué de acuerdo a la malla mencionada en las especificaciones de cada especia 7, 8, 9, 10). Aplicando las ecuaciones de rendimiento 1 y 2 (1.2.1. Tamizado), se elaboró el Cuadro 29 que muestra los resultados de rendimiento para cada uno de los productos obtenidos.

Cuadro 29.- Porcentajes de rendimiento para las especias molidas y criomolidas.

Especia	Molienda	Criomolienda
Apio	99.99 %	99.99 %
Canela	49.26 %	81.21 %
Cilantro	49.26 %	55.85 %
Nuez	85.63 %	93.75 %

Entendiendo por rendimiento, el grado de efectividad de la molienda y relacionando las cantidades de sobretamaño y subtamaño, de acuerdo a las ecuaciones propuestas, y a partir de los rendimientos obtenidos en el Cuadro 29 podemos definir que:

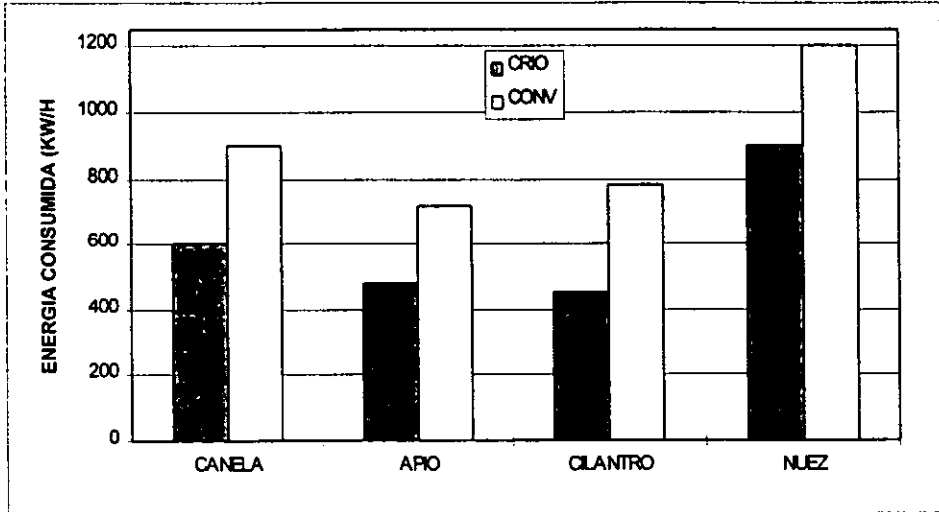
- En el primer caso (semilla de apio), el comportamiento fué el mismo por lo que según estos resultados, la temperatura de proceso no afecta la molienda de la semilla de apio de acuerdo a su rendimiento.

- En los demás resultados si hay diferencia, inclusive en la canela es casi el doble el rendimiento obtenido durante la criomolienda con respecto a la molienda convencional, por lo cual se puede afirmar que la temperatura de proceso si influyó sobre el rendimiento directamente en estos caso.

Resumiendo, el cálculo del rendimiento nos dá poca información para nuestro objetivo principal, pero se menciona además que el proceso de criomolienda tuvo varias ventajas sobre la molienda tradicional, un punto muy importante es el ahorro energético, la energía consumida para la molienda (convencional y criogénica), se calculó relacionando las características del molino, en específico la capacidad del motor y el tiempo de proceso necesario para cada uno de los casos.

Los datos obtenidos se ordenaron y a continuación se presentan gráficamente:

Figura 18.- Consumos energéticos para la molienda y criomolienda de las especias analizadas.



Como se puede observar en la Figura 18 los consumos energéticos para la criomolienda son en todos los casos menores en comparación con la energía requerida para una molienda tradicional; con esto podemos afirmar que al criomoler una especia los consumos energéticos disminuyen influyendo directamente sobre los costos de operación.

La afirmación anterior implica que aunque los resultados de un análisis de distribución de partículas así como de rendimiento no sean significativos, el obtener un producto criomolido, aunque tenga

características similares a los productos obtenidos normalmente, disminuye gastos energéticos y esto es una gran ventaja.

3.3. Análisis de contenido de aceites volátiles.

A continuación se muestran los resultados promedio de los análisis (que se realizaron por cuadruplicado) para cuantificar los aceites volátiles de las especias enteras, molidas y criomolidas:

Cuadro 30.- Resultados promedio del contenido de aceite volátil para las especias analizadas.

Especia	Entera	Molida	Criomolida	Biblio.22
Apio	1 %	2 %	2.5 %	2-3 %
Canela	0.5 %	1 %	1.5 %	0.5-1 %
Cilantro	0.2 %	0.4 %	0.6 %	0.1-1 %
Nuez	2 %	5.5 %	6.0 %	7.15 %

Como se puede observar en el Cuadro 30, al comparar los resultados obtenidos de la experimentación, con los datos bibliográficos 22, las especias enteras reportan un porcentaje por debajo de lo esperado, esto se debió a que el método analítico está diseñado para muestras molidas, a las que se les pueden extraer sus componentes para cuantificarlos y/o analizarlos.

Por otra parte al comparar las muestras provenientes de ambos tipos de molienda, nos podemos percatar que las que se criomolieron presentan un mayor porcentaje de aceites volátiles con respecto a las molidas convencionalmente, además de ésto los datos se acercan a los reportados bibliográficamente.

Las muestras también se analizaron estadísticamente por un análisis de varianza según su tipo y se obtuvieron los resultados, mostrados en el Cuadro 31.

Cuadro 31.- Resultados del Análisis de Varianza de 2 factores con una sola muestra para determinación de aceites volátiles.

Especia	F	>/<	Valor crítico para F
Apio	7.1250	>	3.4633
Canela	4.4966	>	3.4633
Cilantro	0.8400	<	3.4633
Nuez	19	>	3.4633

Además, en el Cuadro 32 se puede confirmar que en la mayoría de los casos hubo una gran variación entre los eventos (con excepción de la semilla de cilantro), lo que se traduce como una amplia diferencia entre los resultados y por lo tanto, para el propósito de esta investigación es efectiva.

Como se mencionó anteriormente, el contenido de aceites volátiles, determina las características organolépticas de las especias; de ahí la importancia de cuantificarlos y buscar la forma de retenerlos, una muy buena opción, por los resultados obtenidos, es la criomolienda.

La mayor retención de aceites volátiles se debió a que, al trabajar con temperaturas de congelación para cada especia, la grasa se encuentra cristalizada y junto con los aceites volátiles, por lo cual es impedido el hecho de que se volatilicen y le resten calidad al producto molido como sucede durante la molienda convencional.

3.4. Análisis de contenido de humedad.

La humedad fué muy importante durante la experimentación, ya que al no haber posibilidades de controlar la humedad ambiental se suscitaron diversos problemas, lo cual sirvió para comprobar el que al aplicar un proceso criogénico se deberá tener cuidado en este detalle 2. Por otra parte las especias enteras presentaban un porcentaje de humedad diferente al reportado bibliográficamente 22 (Cuadro 32) con excepción de la canela.

Cuadro 32.- Resultados promedio del porcentaje de humedad de las especias analizadas

Especia	Entera	Molida	Criomolida	Biblio.22
Apio	7 %	6 %	6.5 %	10 %
Canela	20 %	19.5 %	21 %	20 %
Cilantro	7.5 %	6 %	7 %	9 %
Nuez	7 %	5 %	5.5 %	8 %

Ahora bien, si comparamos los datos experimentales reportados en el Cuadro 32, se puede observar que las especias criomolidas retuvieron mayor cantidad de agua que las especias molidas con respecto al porcentaje inicial de las especias enteras, aunque en el caso de la canela se sobrepasó; como ya se había mencionado esto fué como consecuencia de la condensación de la humedad ambiental cuando se criomolió alterando los resultados por lo cual se determina que durante la criomolienda se debe tener cuidado en el control de la humedad ambiental (para el caso de una molienda criogénica con inmersión en nitrógeno líquido este problema no existe).

Por otra parte, los resultados fueron tratados estadísticamente para comparar que tan diferentes eran, y para lo cual se recurrió a un Análisis de Varianza de 2 factores con una sola muestra (Cuadro 33).

Cuadro 33.- Resultados del Análisis de Varianza de 2 factores con una sola muestra para retención de humedad.

Especia	F	>/<	Valor crítico para F
Apio	0.0236	<	3.4633
Canela	0.7348	<	3.4633
Cilantro	1.0000	<	3.4633
Nuez	0.8400	<	3.4633

A partir de los resultados estadísticos para los datos de retención de humedad (Cuadro 33), se observa que la diferencia entre los datos no es significativa, sin embargo durante la operación no se alcanzó una temperatura que afectara la humedad de las especias ya que sólo se molieron 2 kg en cada caso y en condiciones normales, cuando se muelen grandes cantidades de producto se alcanzan temperaturas de hasta 80° C 11, durante la experimentación la temperatura más alta que se alcanzó fué de 40° C insuficientes para evaporar el agua lo que sin duda alguna se hubiera detectado estadísticamente.

Es importante tener un control del porcentaje de humedad en el producto ya que dependiendo de ésta se podrán determinar las condiciones de almacenamiento, así como su vida de anaquel.

Por otra parte, al relacionar los resultados de los análisis aplicados, podemos observar que en cuanto a composición y granulometría, los productos criomolidos presentan amplias ventajas sobre los productos molidos convencionalmente, tanto en el proceso como en sus características finales.

CONCLUSIONES.

De acuerdo a el objetivo inicial de este trabajo, que es el de evaluar dos tipos de molienda (convencional y criogénica), se puede afirmar que tanto las condiciones de operación, así como las características de las especias seleccionadas fueron más satisfactorias en el caso de la criomolienda con respecto a la molienda convencional, ya que los problemas planteados en un principio fueron eliminados:

- La semilla de apio se criomolió rápido y no obturó el molino, además de que por los análisis fisicoquímicos que se le realizaron (al igual que a las demás especias estudiadas), presentó mejores características. Se puede agregar que el producto obtenido por molienda tradicional tenía un color mas tenue que en el caso de la molienda criogénica.

- La canela por su parte no despejó tanto polvo al ambiente durante el proceso criogénico, como en la molienda convencional y también se agilizó su trituración en el primer caso, pero requirió de demasiado CO₂ S para su enfriamiento (relación 1:1), por su forma geométrica (laminar), que dificulta su enfriamiento congelación.

- La semilla de cilantro enseguida de su molienda criogénica estaba lista para tamizarse (cuando se muele convencionalmente es necesario dejarla enfriar a temperatura ambiente hasta un día), y por su forma geométrica fué suficiente una relación de CO₂ S-especia de 3:1 (tres partes de semilla de cilantro por una de CO₂ S).

-La nuez moscada, aunque no alcanzó la temperatura necesaria para su proceso en congelación (-156.67° C 17) presentó mejores características fisicoquímicas al criomolerla, y durante el proceso criogénico se facilitó su trituración y no obturó el molino tanto como en la molienda tradicional.

En cuanto a la influencia de la temperatura de proceso sobre las características fisicoquímicas (concentración de aceites volátiles y contenido de humedad), durante la experimentación no se presentaron aumentos de temperatura significativos durante la molienda convencional, pero es importante el señalar que cuando se muelen cantidades mayores de especia, el molino se puede calentar hasta 80° C, y aquí la diferencia entre sus características organolépticas podría ser mayor.

Durante la molienda criogénica se disminuyó el tiempo de proceso en todos los casos, y esto se traduce como una reducción en el gasto energético directamente, ya que la operación se agiliza y por otra parte como un aumento en la velocidad de producción.

Es importante mencionar que es necesario establecer las condiciones de enfriamiento para cada especie de acuerdo a su contenido de grasa; además de que la humedad atmosférica debe ser tal que no haya una condensación que afecte el porcentaje de humedad presente en la especie molida. El problema de la condensación de la humedad atmosférica se elimina al criomoler ocupando nitrógeno líquido y manteniendo durante el proceso en inmersión el producto, pero esto a su vez implica un aumento en los costos por instalación.

De acuerdo a los resultados de la presente investigación, la criomolienda en la industria tiene mucho futuro, aunque implica una inversión inicial, los productos obtenidos, la agilización del proceso y el ahorro energético compensan este gasto.

Además en estos tiempos donde la buena calidad en todos aspectos es fundamental para el desarrollo de cualquier empresa, el incluir nuevas tecnologías es necesario para que esto se lleve a cabo; y para las industrias donde el proceso de molienda esté presente, la incorporación de la criogenia en esta operación es una muy buena opción para mejorar la calidad de su proceso y de sus productos.

OBSERVACIONES

1.- La criomolienda ofrece múltiples ventajas al mejorar el proceso tradicional de molienda, ya que:

- Disminuye el polvo en el ambiente despejado por la especia que se esté moliendo, aumentando directamente el rendimiento.

- Fragiliza la estructura del material facilitando su trituración, disminuye así el esfuerzo del molino, aprovechando más la energía.

- Elimina la obturación del molino y agiliza la operación.

- Los residuos de producto en el molino son mínimos y fáciles de remover.

- En el caso de las especias que deben esperar a enfriarse para poderse tamizar (como la semilla de cilantro) éste problema se elimina.

- Disminuye los costos energéticos.

2.-La molienda criogénica mejora la calidad del producto:

- La partícula de la especia criomolida es de tamaño más fino y homogénea.

- Las especias molidas a bajas temperaturas retienen más componentes propios (aceites volátiles) que las molidas normalmente.

- Por lo anterior, las especias criomolidas presentan una mejor calidad organoléptica por conservar su sabor, color y olor característicos.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio sobre los costos de la substancia criogénica a emplear, tomando en cuenta tanto su precio como el del material a procesar así como las cantidades a emplear.

- Tener un control sobre la humedad del ambiente y de la higroscopía de la materia prima.

- Comparar los diferentes tipos de enfriamiento que existen (CO₂ S, N₂ líquido) para emplear el más adecuado a las necesidades y posibilidades.

- Determinar las temperaturas apropiadas para el tipo de el (los) producto (s) que se maneje.

- Solicitar asesoría a las empresas encargadas de surtir el CO₂ S (o el N₂ líquido según el caso), para el uso de los mismos en la criomolienda.

BIBLIOGRAFIA.

1. Badui Dergal, Salvador
"Química de los Alimentos"
Ed. Alhambra
2a edición
México, D. F. 1990

2. Boletín técnico de ventas # 728
Liquid Carbonic Corp.

3. Braton, Norman
"Cryogenic Recycling and Processing "
CRC Press
Chicago 1980

4. Brennan et al
"Las Operaciones de la Ingeniería de los alimentos"
Edit. Acribia
Zaragoza España 1980

5. Duxbury, Dean D.

"Criogenically milled natural spices extend stability"

Food Processing USA

Agosto 1991

6. Earle, R. L.

"Ingeniería de los Alimentos"

Ed. Acribia.

Zaragoza, España 1988

7. Especificaciones de semilla de apio molida

Condimentos Naturales Tres Villas

8. Especificaciones de canela molida

Condimentos Naturales Tres Villas

9. Especificaciones de semilla de cilantro molida

Condimentos Naturales Tres Villas

10. Especificaciones de nuez moscada molida

Condimentos Naturales Tres Villas

11. Fan, L. T., How, K. H.

"A note on the Characterization of Cryomilled Wheat Flour by
Scanning
Electron Microscopy"
Cereal Chemistry
Julio 1976

12. Farrell, Kenneth T.

"Spices Condiments and Seasonings"
Westport, Connecticut
1985 AVI

13. Fennema, Owen R.

"Introducción a la Ciencia de los Alimentos"
Ed. Reverté S. A.
Barcelona, España 1985

14. Geankoplis, Christie J.

"Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias"
Cia. Editorial Continental S.A. de C.V.
México, D.F. 1982

15. Gerhardt, Ulrich

"Especias y Condimentos"

Edit. Acribia

Zaragoza España 1975

16. Lewis, M. J.

"Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de
Procesado"

Edit. Acribia

Zaragoza España 1993

17. Longman Group Ltd.

"Materials and Technology"

Volumen VII

Herengracht, Amsterdam 1975

18. Perry, John H.

"Manual del Ingeniero Químico."

Tomo II

Mc Graw Hill

México D. F. 1976

19. Pesek, Catherine

"Spice quality: effect of cryogenic and ambient grinding on color"

Journal of Food Science

Mayo 198

20. Pesek, Catherine

"Spice quality: effect of cryogenic and ambient grinding on volatiles"

Journal of Food Science

Marzo 1985

21. Rice, Judy

"New research under scores benefits of cryomilled spices"

Food Processing USA

Noviembre 1984

22. Hart, F. Leslie

"Análisis Moderno de los Alimentos"

Ed. Acribia

Zaragoza España

1991

23. Herman, José

"Farmacotecnia Teórica y Práctica"

Tomo IV

De. Continental

México D. F.

1981

24. Varios autores

"Head to Head Comparisions of Process Freezing Methods"

Meat Processing

Marzo 1980