



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada.”

TESIS

**PARA OBTENER EL TITULO
DE QUIMICO FARMACOBIOLOGO**

PRESENTA:

GLORIA ELIZALDE MENDIOLA

ASESOR INTERNO: MAESTRA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA. ROSA MARIA GARCÍA MARTÍNEZ.

CO-ASESOR: INGENIERO QUÍMICO. MARTÍN JESÚS MEJÍA.

MORELIA, MICHOACAN, AGOSTO DEL 2016

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

CONTENIDO	
Temas	Paginas
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPITULO I. INTRODUCCION	3
CAPITULO II. ANTECEDENTES	5
2.0. Características generales del proceso de extrusión	5
2.1. Historia de la extrusión	6
2.2. Funciones básicas del proceso de extrusión	7
2.3. Elementos y funcionamiento de los extrusores	9
2.3.1. Elementos de un extrusor	9
2.4. Clasificación de los extrusores	15
CAPITULO III. MARCO TEORICO	19
3.0. Aspectos generales	19
3.1. Clasificación de las frutas	20
3.2. Maduración de las frutas	21
3.2.1. La respiración	21
3.2.2. Proceso de maduración y evolución	23
3.3. Transformaciones de la fruta durante el proceso de maduración	24
3.4. Endulzamiento	29
3.5. Deterioro	30
3.6. Conservación y almacenamiento	31
3.7. Los principales componentes de la fruta	31
3.7.1. Agua	31
3.7.2. Hidratos de carbono	32
3.7.2.1. Modificaciones de hidratos de carbono	33
3.7.2.2. Azúcares	33
3.7.2.3. Almidones	34
3.7.3. Proteínas	35

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

3.7.3.1. Modificaciones de las proteínas	35
3.7.4. Fibra vegetal	37
3.7.4.1. Estructura de las fibras	38
3.7.5. Grasas y aceites	39
3.7.5.1. Modificaciones de los lípidos	40
3.7.6. Vitaminas	41
3.7.6.1. Modificaciones de las vitaminas	42
3.7.7. Sales minerales	53
3.7.8. Aromas y pigmentos	54
3.7.9. Elementos fotoquímicos (colorantes, aromas y compuestos fenólicos)	55
HIPOTESIS	64
JUSTIFICACIÓN	65
CAPITULO IV. OBJETIVOS	66
4.1. Objetivo general	66
4.2. Objetivos específicos	66
CAPITULO V. MATERIAL Y METODOS	67
CAPITULO VI. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	74
6.1. Resultados del procesamiento de la fruta natural-deshidratada-extruida	74
6.2. Etapas de análisis cualitativo	80
6.3. Etapas de análisis cuantitativo	82
CAPITULO VII. CONCLUSIONES	97
CAPITULO VIII. BIBLIOGRAFIA	98

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

CONTENIDO DE FIGURAS

Figuras	Paginas
Figura 1. Partes de un extrusor	9
Figura 2. Tornillo del extrusor	10
Figura 3. Barril del extrusor	11
Figura 4. Dado del extrusor unido a un cortador	11
Figura 5. Extrusor acoplado a distintos equipos para obtener un proceso alimenticio completo	12
Figura 6. Proceso de extrusión, es el centro de una planta de producción	13
Figura 7. Secciones en las que se divide el cilindro y el tornillo	14
Figura 8. Esquema del tornillo simple y dirección del flujo de material	17
Figura 9. Componentes comunes de los extrusores húmedos	18
Figura 10. Composición del fruto	20
Figura 11. Deshidratación de glucosa y formación de hidroximetilfurfural	32
Figura 12. Maltol e isomaltol	32
Figura 13. Vitamina A y β -caroteno	43
Figura 14. Vitamina E	44
Figura 15. Vitamina K	45
Figura 16. Tiamina y pirofosfato de tiamina	46
Figura 17. Niacina	47
Figura 18. Ácido pantoténico	47
Figura 19. Vitamina B6	48
Figura 20. Ácido fólico y folatos. R: en general metilo (-CH ₃), formilo (-CHO), metileno (-CH ₂ -) o metenilo (-CH=) en las posiciones N5 o N10 o formando puentes entre estos nitrógenos	49
Figura 21. Ácidos ascórbico y dehidroascórbico	50
Figura 22. Pardeamiento no enzimático del ácido ascórbico	51

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Figura 23. Biotina	52
Figura 24. Licopeno y luteína	55
Figura 25. Clorofila	56
Figura 26. Ácido clorogénico	58
Figura 27. Estructura de distintos grupos flavonoides	59
Figura 28. Estructura de la rutina	60
Figura 29. Ácido elágico	61
Figura 30. Catequinas y teaflavinas	61
Figura 31. Estructura de las betalainas	63
Figura 32. Fruta alimonada	74
Figura 33. Rebanado de fruta	74
Figura 34. Fruta en solución de ácido cítrico	75
Figura 35. Deshidratación de la fruta	76
Figura 36. Obstrucción del extrusor	78
Figura 37. Fruta extruida de buena consistencia	78
Figura 38. Fruta extruida de mala consistencia y molienda incompleta	79
Figura 39. Extruido de fruta con la humedad ideal	79
Figura 40. Panel de degustación	80
Figura 41. Fresa y piña deshidratada y extruida	83
Figura 42. Mango y plátano deshidratados y extruidos	84
Figura 43. Manzana deshidratada y extruida	84
Figura 44. Determinación de fibra cruda en la fruta	85
Figura 45. Determinación de Nitrógeno proteico por el método Kjeldhal	85
Figura 46. Determinación de extracto etéreo	86
Figura 47. Texturómetro	87
Figura 48. Determinación de la acidez en las frutas	91
Figura 49. Extruido de piña-coco	95
Figura 50. Extruidos de piña, mango y manzana enchilados	95

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Figura 51. Extruidos de plátano y manzana con canela	96
Figura 52. Extruidos de fresa con miel de agave	96

DIAGRAMA DE FLUJO

Diagrama	Paginas
Diagrama de flujo 1. Procesamiento de fruta extruida	68

CONTENIDO DE TABLAS

Tablas	Paginas
Tabla 1. Elementos minerales	54
Tabla 2. Pruebas cualitativas a la fruta extruida	70
Tabla 3. Técnicas de análisis bromatológico	71
Tabla 4. Condiciones de la prueba de textura	71
Tabla 5. Diferencia significativa de la humedad de fruta deshidratada	77
Tabla 6. Parámetros evaluados en el panel de degustación	81
Tabla 7. Resultados de los análisis bromatológicos realizados en fresa y piña	82
Tabla 8. Resultados de los análisis bromatológicos realizados en manzana, mango y plátano	83
Tabla 9. Resultados de compresión de fresa deshidratada y extruida	88
Tabla 10. Resultados de la prueba de textura para los extruidos de fruta	89
Tabla 11. Análisis estadístico de la prueba de textura para los extruidos de fruta	89
Tabla 12. Ácido ascórbico	91

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Tabla 13. Porcentaje de acidez titulable, como ácido cítrico	92
Tabla 14. Antioxidantes (polifenoles totales)	93
Tabla 15. Información nutrimental y costo por kilogramo de extruidos comerciales	94

CONTENIDO DE GRAFICOS

Gráficos	Paginas
Grafico 1. Comportamiento general de la fruta durante la maduración	26
Grafico 2. Curva representativa del proceso de deshidratación	75
Grafico 3. Resultados del proceso de extrusión	80
Grafico 4. Preferencia de los extruidos para los panelistas	81
Grafico 5. Compresión de la fresa deshidratada y extruida	88
Grafico 6. Compresión de la fresa deshidratada y extruida	89

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

RESUMEN

El concepto básico del presente trabajo, fue el de transformar un recurso natural como es la fruta en un producto comercial en forma extruida. Alterando su estructura física, a través, del rebanado, pelado, deshidratación, molienda y extruido, buscando conservar sus propiedades nutricionales y la estabilidad del producto.

Se extruyó la fruta a humedades que permitieran obtener un producto atractivo cualitativamente y cuantitativamente, para lograr esto, la fruta se deshidrató a bajas temperaturas en un rango de 40-50 °C y humedades de entre 8 y 40%. Los extruidos se realizaron en un extrusor de gusano, obteniéndose filamentos (churros) de 0.70 cm de diámetro y hasta 50 cm de largo, sin gradientes de presión y temperatura considerables que alteraran las propiedades del extruido.

Se realizaron pruebas cualitativas como olor, color, sabor, consistencia al tacto y cuantitativas como dureza, adhesividad, parámetros bromatológicos, vitamina C y polifenoles, sobre extruidos en forma natural.

Los resultados obtenidos en forma cualitativa mediante un panel de degustación indican que los extruidos presentan buenas características físicas de buena consistencia, suavidad, color, olor y sabor.

Los resultados de los parámetros bromatológicos reportados en la tabla para la fruta natural, deshidratada y extruida, no presentaron cambios negativos que infieran degradación durante el manejo y procesado de los extruidos. De lo anterior se observó que la fruta extruida conserva sus propiedades nutricionales durante el manejo, procesado y tiempo de anaquel.

El análisis de precios indica que el costo de 1kg de fritura oscila de entre 130 y 300 pesos y los extruidos de fruta entre 90 y 200 pesos el kilogramo.

El análisis nutricional y de precios, permite concluir que los extruidos de fruta son potencialmente un producto bueno para incidir en el mercado comercial.

Palabras clave: fruta deshidratada, extrusión, pruebas cualitativas, análisis bromatológico y análisis de precios.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

ABSTRACT

The basic concept of this work was to transform a natural resource such as fruit in a commercial product in extruded form. Altering its physical structure, through, slicing, peeling, dehydration, grinding and extruded, seeking to retain their nutritional properties and product stability.

It extrudes fruit humidities conducive to obtaining a qualitatively and quantitatively attractive product to achieve this, dehydrated fruit at low temperatures in a range of 40-50 ° C and humidities of between 8 and 40% was extruded. The extrudates were performed in a worm extruder, obtaining filaments (fritters) of 0.70 cm diameter and 50 cm long, without significant pressure gradients and temperature alter the properties of the extrudate.

They were performed qualitative tests such as odor, color, taste, touch and quantitative consistency as hardness, adhesiveness, bromatológicos parameters, vitamin C and polyphenols, on extrudates were performed naturally.

The results obtained qualitatively by a taste panel indicate that the extrudates have good physical characteristics of good consistency, smoothness, color, smell and taste.

The results of the bromatológicos parameters reported in the table for the natural, dehydrated fruit and extruded, showed no negative changes inferring degradation during handling and processing of the extrudates. From the above it was observed that the extrudate retains its nutritional properties fruit during handling, processing and shelf time.

Price analysis indicates that the cost of 1 kg of frying ranges between 130 and 300 pesos and extruded fruit between 90 and 200 pesos per kilogram.

Nutritional and pricing analysis allows to conclude that the extruded fruit are potentially good product to influence the commercial market.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos inocuos y nutritivos es cada vez mayor en todo el mundo, los problemas de salud, tales como obesidad, diabetes, anemia y enfermedades del corazón van en constante aumento. Actualmente, México es uno de los principales consumidores de productos ricos en carbohidratos, grasas y azúcares, esto debido a una falta de cultura alimenticia y sustentada por el bajo poder adquisitivo de los salarios.

Las campañas de concientización para la población en general, por parte de las instituciones de salud y gobierno, a través de los medios de difusión, cumplen a medias esta tarea tan importante, que es la de incidir en los hábitos de alimentación. Lo anterior se debe a que a la par de los slogans de salud, se anuncian la gran variedad de productos de bajo poder nutricional.

Si bien es cierto que las empresas transformadoras de maíz y trigo principalmente cumplen una parte básica en la alimentación de la población, en la producción de tortilla, pan y cereal, también se han enfocado a generar gran parte de los productos denominados chatarra; como cheetos, doritos, chicharrones y fritos, acondicionados con saborizantes, colores y texturas, atractivas para el consumidor. La tecnologías que se emplean hoy en día, son muy diversas, entre las que se encuentra casi en forma común la extrusión. Esta es una tecnología flexible mediante la cual pueden obtenerse gran variedad de productos a partir de diferentes materias primas (granos y derivados), con sabores, texturas, aromas, formas y características nutricionales extremadamente diversas.

Los productos extruidos han tenido una gran aceptación en la población y los encontramos en los productos de Kellogg's principalmente o en forma de golosina como Sabritas y Barcel, por mencionar los más comunes. Si bien es cierto que se han hecho esfuerzos por ofertar algunos de estos productos fortificados nutricionalmente, aún hay mucho por hacer en las instituciones educativas a través la investigación de nuevas tecnologías, en conjunto con la iniciativa privada e instancias de gobierno del sector alimentario del país.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

El presente proyecto retoma gran parte de este entorno productivo y plantea el desarrollar, productos extruidos con un buen valor nutricional, considerando como materia prima la gran variedad de frutas, que existen en nuestro estado de Michoacán. Particularmente nos enfocaremos en la fresa, piña, manzana, plátano y mango, las actividades a desarrollar contemplan: selección de la fruta, lavado, pelado, rebanado, deshidratado y extruido.

Es importante resaltar que la intención primordial de este trabajo es el de ofertar en el mercado fruta extruida, que conserve su valor nutricional y pueda ser fortificada mediante la adición de insumos naturales que resalten, sus propiedades cualitativas y cuantitativas fisicoquímicas. Gran parte de este trabajo se cimenta en los análisis bromatológicos, que determinarán el valor alimenticio de los productos generados y permitirán, establecer los parámetros de control para la obtención óptima de estos extruidos. Los resultados de los parámetros bromatológicos se compararán con los cuadros nutrimentales de los productos ofertados en el mercado mencionados.

Se planteará finalmente una sensibilización del mercado, alternativas posibles de comercialización y repercusión económica en el estado.

II. ANTECEDENTES

2.0. Características generales del proceso de extrusión

La palabra extrudir proviene del latín “extrudere” y significa empujar o presionar hacia afuera, expeler o expulsar. La extrusión se define, como un proceso que involucra el transporte de un material, bajo ciertas condiciones controladas, forzándolo a pasar por una boquilla de una dada geometría y con un caudal masivo pre-establecido, durante este transporte se produce la cocción parcial o total de los componentes de la mezcla (González et al, 2002).

Se considera que los extrusores son bombas especializadas que forman productos de forma constante, al forzar a los materiales sometidos al proceso de extrusión a fluir a través de una restricción (boquilla o dado). La mayor parte de los extrusores realizan, tanto, el mezclado como la conversión de los materiales en masas manejables que puedan fluir a través de la boquilla. La cocción por extrusión es una forma especializada, y única en el procesamiento de materiales amiláceos debido a que se trata de una cocción a relativamente bajos niveles de humedad, comparado con el horneado convencional o la cocción de masas y pastas.

Los niveles normales de humedad utilizados están en el intervalo de 10-40% y a pesar de estos bajos valores de humedad el material se transforma en un fluido dentro del extrusor. Bajo estas condiciones las características físicas de las materias primas, tales como el tamaño de partícula, la dureza y el grado de plastificación alcanzado durante el proceso de extrusión llegan a ser determinantes para la transformación final del material. En la actualidad un extrusor de alimentos es considerado un bioreactor de alta temperatura que a corto tiempo transforma una amplia variedad de materias primas en productos intermedios y finales modificados.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

2.1. Historia de la extrusión

Los procesos de extrusión y los equipos de extrusión fueron desarrollados simultáneamente en varias industrias y países durante los dos últimos siglos.

Básicamente sus usos fueron para procesar materiales viscosos, como plásticos, hules y alimentos (pastas de trigo).

- En 1779 ya se empleaba un sistema manual para el procesado de pasta.
- En 1860-63 aparecen las primeras producciones industriales de cereales para desayuno en Michigan y Nueva York.
- En 1869 Fellows y Baste, en Inglaterra desarrollaron el primer extrusor continuo de doble husillo conocido. Este equipo se usó inicialmente para la elaboración de productos del tipo salchicha.
- En 1894 Will Keith Kellogs inventa los primeros “corn flakes” que empezarán a comercializarse de forma generalizada a partir de 1906.
- En 1900-1902 primera prensa-extrusora en continuo para obtención de aceite de linaza.
- 1930 se usó un extrusor que mezclaba semolina, agua y otros ingredientes, para formar una masa que, al ser presionada y empujada hacia afuera del extrusor, y que de acuerdo al tipo de dados se formaban los diferentes tipos de pastas, que hoy conocemos (Enríquez, 1984).
- La compañía General Meals fue la primera en utilizar, esta maquinaria conocida como extrusores cocedores, en la producción de cereales precocidos para consumo inmediato.
- En 1930 se desarrolló el primer extrusor de husillo único para la producción continua de pasta. Desde el siglo XIII que se introdujo en Europa se realizaba por cargas, pero a pesar de ello, hasta 1940 aún se producirá la pasta de forma generalizada mediante sistemas por cargas.
- En 1939 los primeros rizos de maíz fueron extruidos. Este producto no fue lanzado al mercado hasta después de la II Guerra Mundial por Adams Corporation.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

- A lo largo de 1940 se desarrollaron y refinaron diferentes extrusores de único husillo para la obtención de aceite a partir de semillas oleaginosas, sustituyendo muchas de las menos eficientes prensas hidráulicas obtenidas para este propósito.
- En 1946 la compañía Adams Corp., lanzo al mercado, alimentos tipo “Botana” que fueron extruidos y cocidos, en extrusores alimentados para materiales de baja humedad.
- En 1950, la primera máquina de extruido de comida para animales fue puesta en marcha por Ralston Purina, empresa fundada en 1894.
- Entre 1950 y 1960 se desarrollan las primeras instalaciones de comida extruida para animales, basada en producto de base almidón gelatinizado.
- En 1951 Anderson Company desarrolla un sistema de pre-prensado de semillas oleaginosas de alto contenido en aceite para posterior extracción con disolventes.
- Entre 1960 y 1970 aparecen los primeros sistemas de cocción y conformado en continuo para la obtención de cereales RTE, petfoods de humedad intermedia, cereales basados en almidón pregelatinizado y TPP (texturized plant proteins) y sistemas para la inactivación de inhibidores del crecimiento, enzimas, etc.
- En 1970 nuevas generaciones de extrusores de simple y doble husillo.
- Extrusores de doble husillo se fabrican en Europa desde hace más de 35 años, pero sólo a partir de los 80 se interesan las empresas de USA.
- A partir de la década de los ochenta, proliferación del uso de los extrusores. Estudios relacionados con los biopolímeros. El extrusor bioreactor en continuo.
- La tecnología de la extrusión continúa en desarrollo y la producción de productos es tan amplia que el mercado se encuentran una amplia gama de productos tales como, alimentos para animales, para consumo humano y una gran variedad de botanas, las compañías han encontrado en los procesos de extrusión un amplio mercado de formas y productos atractivos para el consumidor.

2.2. Funciones básicas del proceso de extrusión

Los extrusores tienen como objetivos principales en la industria alimentaria:

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

- El mezclado y homogenizado de las materias primas
- La cocción de la mezcla de materias primas: la mezcla pre condicionada se pasa entonces a través de un extrusor forzándola a pasar por un troquel donde se corta a la longitud deseada. El proceso de cocción tiene lugar dentro del extrusor en el que el producto produce su propia fricción y calor debido a la presión generada (10-20 bares).

En el proceso de extrusión los materiales húmedos, ricos en almidones y/o proteicos, son plastificados y cocidos en el tubo del extrusor, por una combinación de presión, calor y esfuerzo mecánico. Esto propicia la gelatinización de los almidones y la desnaturalización de las proteínas, debido a la alta temperatura, presión y alto esfuerzo mecánico, que se genera en el barril del extrusor (Hauck y Huber, 1989).

El uso de la extrusión en el proceso de cocción proporciona a los alimentos las siguientes características:

- Gelatinización del almidón
- Desnaturalización de las proteínas
- Inactivación de enzimas de comida crudas
- La destrucción de toxinas
- Disminución de microorganismos en el producto final
- Ligero aumento de la biodisponibilidad de hierro
- Producción de sabores y colores
- Reducción de factores antinutricionales
- Crear textura a través de presión, flujo e intercambio de calor
- Crear formas
- Secar el producto
- Creación de almidones para necesidades de hiposensibilización de insulina, un factor de riesgo para el desarrollo de diabetes
- Pérdida de lisina, un aminoácido esencial necesario para el crecimiento y el metabolismo del nitrógeno

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

- Simplificación de almidones complejos, aumentando las tasas de deterioro dental
- Destrucción de vitamina A (beta-caroteno)

2.3. Elementos y funcionamiento de los extrusores

En la figura 1 se muestran las partes más importantes de un extrusor sencillo. Se observa la tolva alimentadora, la que permite proporcionar un flujo uniforme constante a la entrada del equipo. El tornillo o rotor es la parte central del extrusor que ejecuta las operaciones de mezclado, amasado, corte, cocimiento y avance del material que se llevan a cabo dentro del cañón o cilindro y por último la boquilla que le da forma al producto final (Acosta, 1984).

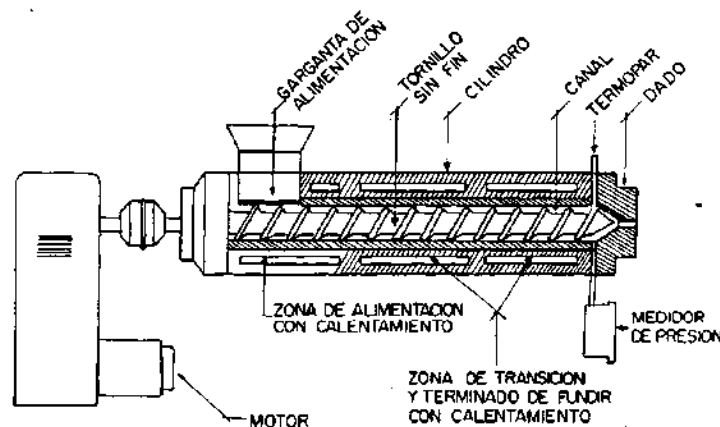


Figura 1. Partes de un extrusor (Martínez, 1993).

2.3.1. Elementos de un extrusor

El canal donde gira el tornillo, en la mayoría de los casos es una superficie cilíndrica, que ofrece dicha superficie para producir los esfuerzos cortantes en el material y sirve como una superficie de transferencia de calor, ya sea para calentar o enfriar. Al generar calor por la fricción producida entre el material y las superficies metálicas del tornillo y del cañón o cilindro, es posible conocer la materia prima y finalmente obtener un producto precocido o cocido totalmente (Martínez, 1993).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Otro componente del extrusor es el tornillo en donde la rotación de este, conjuntamente con la generación de presión forzan al tornillo hacia atrás, eliminando la necesidad de asegurar los elementos del tornillo. El extrusor posee una chumacera principal que es la que le da soporte al tornillo. En la figura 2 se muestra al tornillo y demás partes que lo rodean.

En el tornillo de un extrusor se distinguen como características principales: diámetro del tornillo, profundidad entre la base del tornillo y el interior del cañón, así como la altura y el número de alabes.

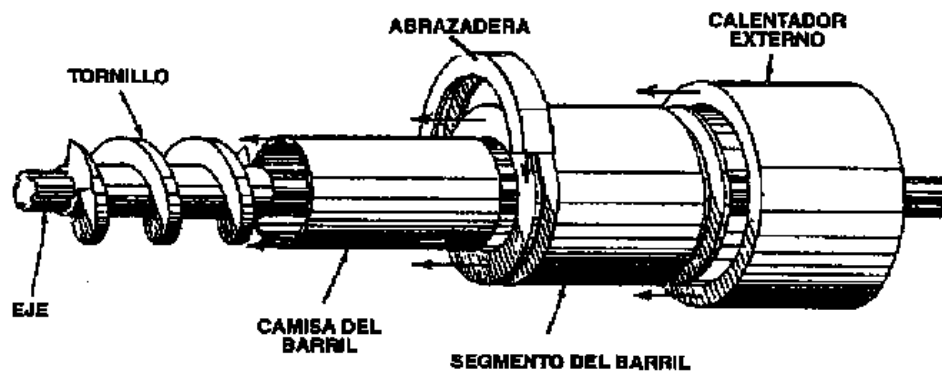


Figura 2. Tornillo del extrusor (Miller, 1994).

En la figura 3 se muestra otra parte importante del extrusor el barril, cañón o cilindro del extrusor, que es donde se realiza el mezclado, corte del material y elevación de la temperatura del proceso que se está realizando.

El material impulsado por el rotor tiende a deslizarse a través del cañón, para regular ese deslizamiento se le agregan obstrucciones al cañón, que pueden ser ranuras con bordes filosos, pernos, etc.

Al chocar el producto en proceso contra los pernos o bordes del cañón se aumenta el tiempo de residencia, produce la fricción que eleva la temperatura y la presión hasta un valor predeterminado (Acosta, 1984).

Los segmentos del barril están unidos entre sí con abrazantes para asegurarlas.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

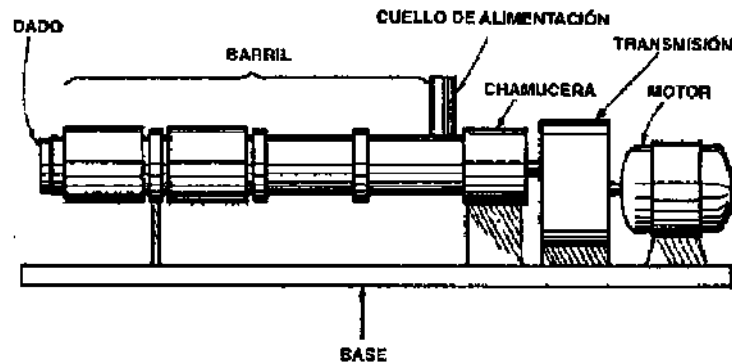


Figura 3. Barril del extrusor (Miller, 1994).

Al otro extremo del extrusor se encuentra un dado ensamblado que normalmente está sujeto al barril. En muchos casos, se introducen partes que se pueden reemplazar para crear los orificios en los dados. Estos son montados por detrás en la plancha del dado, en donde son sometidos en su lugar por la presión de la extrusión, lo cual crea suficiente fuerza para prevenir goteo.

El dado de extrusión sirve principalmente como una resistencia al flujo. Tiene una profunda influencia en la conducta del flujo del producto en el tornillo, y también contribuye directamente a la texturización del producto por el corte desarrollado en el dado mismo. Es también responsable de desarrollar diferentes formas en el producto en la mayoría de los casos (Miller, 1994).

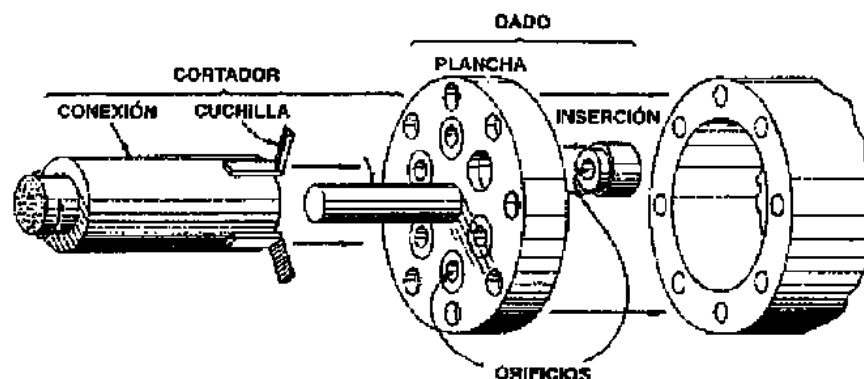


Figura 4. Dado del extrusor unido a un cortador (Miller, 1994).

En muchos casos, el producto se parte en pedazos en el dado por un cortador, el cual pasa por las cuchillas a través de la cara del dado (figura 4). Para un buen

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

corte, las cuchillas deben de estar sostenidas rígidamente cerca de los dados. Un método es montar el cortador en un lugar en el que sea parte de la plancha.

Alrededor del extrusor están otras unidades necesarias para crear un proceso alimenticio (figura 5).

Estas incluyen una guía y protector del cortador (cuando se utiliza un cortador de cara al dado), una “manivela” para inyección de vapor y puerta de entrada (cuando esta forma de energía es deseada) y un pre-cocinador (usualmente utilizado para aumentar productividad o mejorar la calidad del producto).

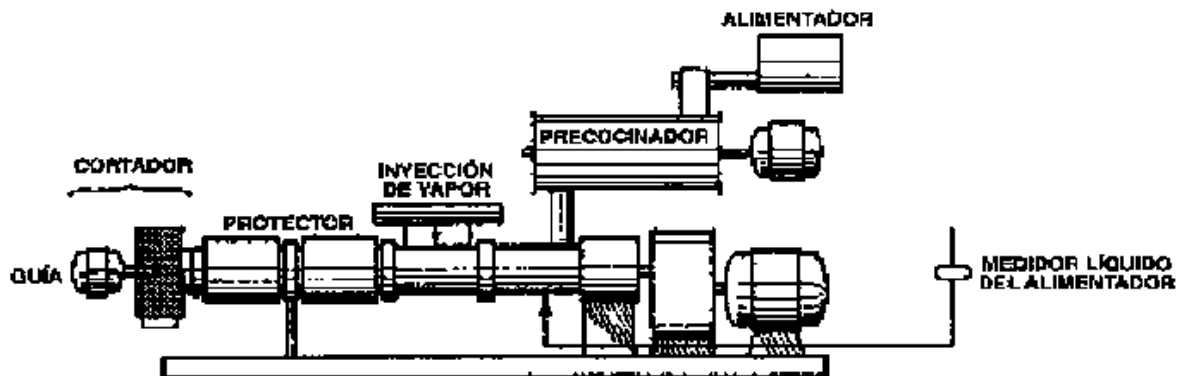


Figura 5. Extrusor acoplado a distintos equipos para obtener un proceso alimenticio completo (Miller, 1994).

El proceso de extrusión es frecuentemente en el centro de una planta de producción de alimento (figura 6), en donde se necesita equipo adicional, dependiendo del tipo de producto que está siendo fabricado.

El almacenamiento de los ingredientes, pesar los ingredientes y mezclarlos, es importante.

Cuando se extruyen formulaciones complejas, la consistencia en la calidad de la alimentación y composición son tan importantes como los porcentajes de alimentación uniforme (ídem).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

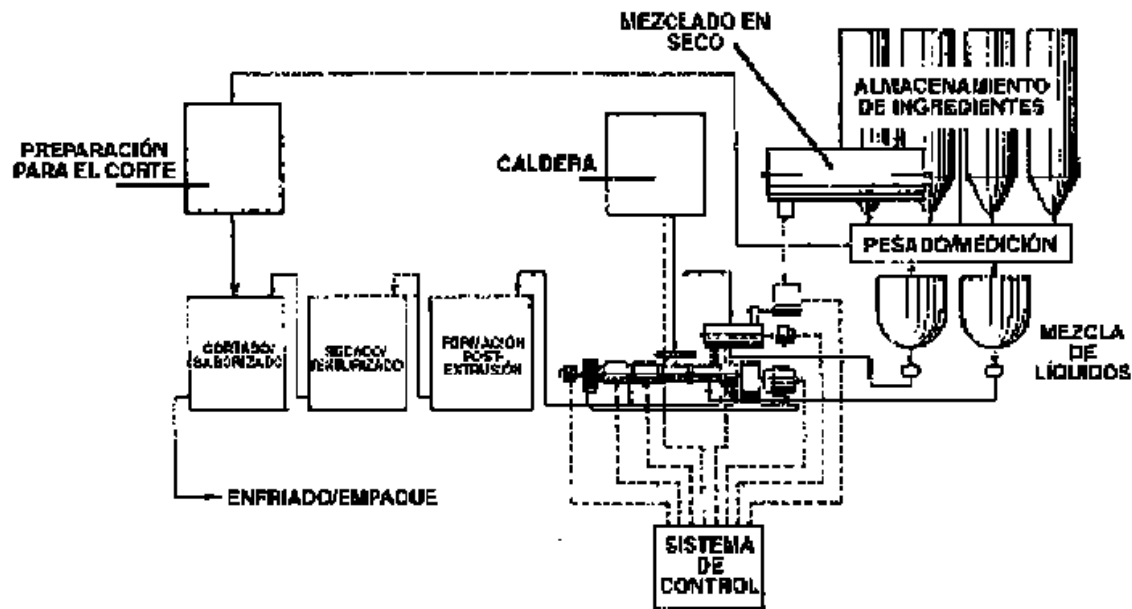


Figura 6. Proceso de extrusión, es el centro de una planta de producción (Miller, 1994).

La mayoría de los productos que salen del extrusor requieren un procesamiento adicional, incluyendo los pasos de formación (cuando el producto cortado en el dado no tiene la configuración deseada), y secado (los extrusores raramente reducen la humedad del producto al nivel final deseado). El secado frecuentemente involucra más desarrollo de la textura, por ejemplo, hornos tostadores de temperaturas altas abren la estructura del producto. Muchos productos están cubiertos o saborizados, requiriendo un sistema separado (ídem).

A lo largo del cilindro y del tornillo se distinguen 3 secciones, las cuales se muestran en la figura 7 (Harper, 1981).

1. La sección de alimentación (feed zone).

Está caracterizada por alabes hondos, los cuales fácilmente aceptan los ingredientes crudos y los transportan hacia adelante. Durante el transporte, los materiales son transformados en una masa continua, el aire es expelido y los espacios vacíos son eliminados, haciendo que los alabes se llenen completamente.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

2. La sección de compresión o eliminación (kneading zone).

En el cual los ingredientes húmedos son convertidos en una masa termoplástica por la gelatinización del almidón y la hidratación de la proteína. La zona de compresión es usualmente caracterizada por una disminución en la altura de los alabes. Esto incrementa la relación de esfuerzo cortante y la energía mecánica suministrada al alimento, lo cual resulta en un aumento en la temperatura.

3. La sección de medición o cocimiento (final cooking zone).

Sección donde el flujo, la presión, compresión y velocidad de corte son altos. Esta zona se caracteriza por tener una altura menor a los alabes que en la zona de compresión. La masa termoplástica se transforma en una masa plástica. Como resultado de la conversión de la energía mecánica en energía térmica, la acción del corte en esta zona homogeniza y adiciona más calor a la mezcla. Esta zona es la parte más importante del extrusor. Su función es recibir el material, comprimirlo, homogeneizarlo y hacerlo pasar a través del dado o boquilla a presión constante. Al final se encuentra el dado o boquilla que tiene como función principal dar la forma deseada al producto extruido.

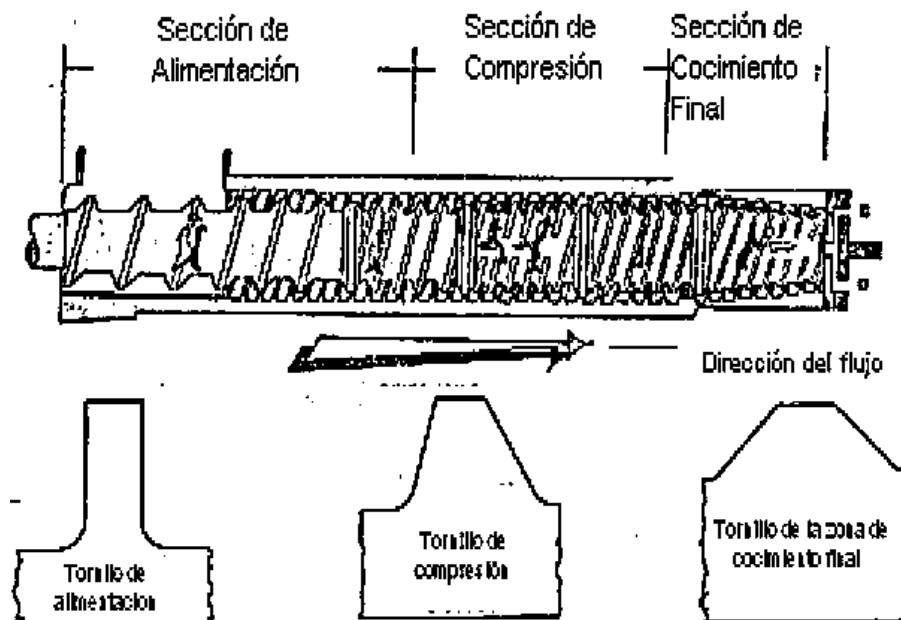


Figura 7. Secciones en las que se divide el cilindro y el tornillo (Hauck y Huber, 1989).

2.4. Clasificación de los extrusores

La clasificación de los extrusores se basa en diferenciar criterios, por ejemplo, sobre la humedad del producto a extrudirse, si el extrusor es de un tornillo o de doble tornillo o bien sobre las características funcionales o termodinámicas del mismo proceso (Tribelhorn y Harper, 1980).

Tomando como referencia este último sistema de clasificación se tienen los siguientes tipos:

1. Autógeno

En donde el calor se genera por la disipación de la energía mecánica. Algunos extrusores de cocimiento para la elaboración de frituras son de este tipo.

2. Isotérmico

En donde el calor se controla mediante fuentes auxiliares a través de calentamiento o enfriamiento por chaquetas conectadas al barril. Extrusores moldeadores pertenecen a esta clase.

3. Politrópicos

El calor generado proviene de una combinación de la disipación de la energía mecánica y fuentes auxiliares. La mayoría de los extrusores pertenecen a este tipo.

Otra clasificación dependiendo del número de tornillos es (Miller, 1994):

1. Extrusores de un solo tornillo:

El canal del tornillo no está dividido, es continuo a lo largo del tamaño del tornillo (figura 8). En lugar de ser empujado por las aletas del tornillo, el producto es arrastrado por el canal del tornillo por el movimiento relativo del mismo y la superficie del barril, la presión y el flujo son generados por el corte. El flujo de

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

arrastre, resultante es de más o menos la mitad de la capacidad volumétrica del tornillo, la mitad del producto es dejado atrás.

En el proceso de extrusión se puede efectuar el acondicionamiento de la harina antes de la extrusión por medio de vapor o sin vapor y según sea el caso dará dos métodos:

1. Húmedo
2. Seco

2. Proceso de extrusión en seco (Dry extrusión):

El proceso de “extrusión en seco” consiste en la producción de calor (140 - 145°C) causada por la fricción bajo presión (30 – 40 atmosferas) cuando el producto es forzado por un tornillo sinfín a través de una serie de restricciones dentro de cámaras de compresión.

Este proceso toma menos de 30 segundos, de modo que los nutrientes no se dañen ni se destruyan. La extrusión seca emplea niveles de humedad por debajo del 20%.

Este procedimiento riguroso, corta y muele, para que las paredes de las células se rompan, aumentando la disponibilidad de nutrientes (Brauna, 2002).

Cuando el material paso por estas fases ha sido cocido totalmente, y permite así, la digestibilidad de los nutrientes y reducir los componentes antinutricionales.

El calor y la presión producida en el extrusor provocan la destrucción de microorganismos tales como bacterias, mohos y levaduras.

La continua presión y el cocimiento, y el repentino alivio de la presión al salir el producto del extrusor, causan la expansión del mismo al romper las paredes celulares. El resultado es un producto texturizado, altamente apetitoso y durable.

Es posible usarlo en productos con elevado contenido en aceite, por ejemplo para el procesado de soya, puesto que el propio aceite lubrica el paso por la matriz.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

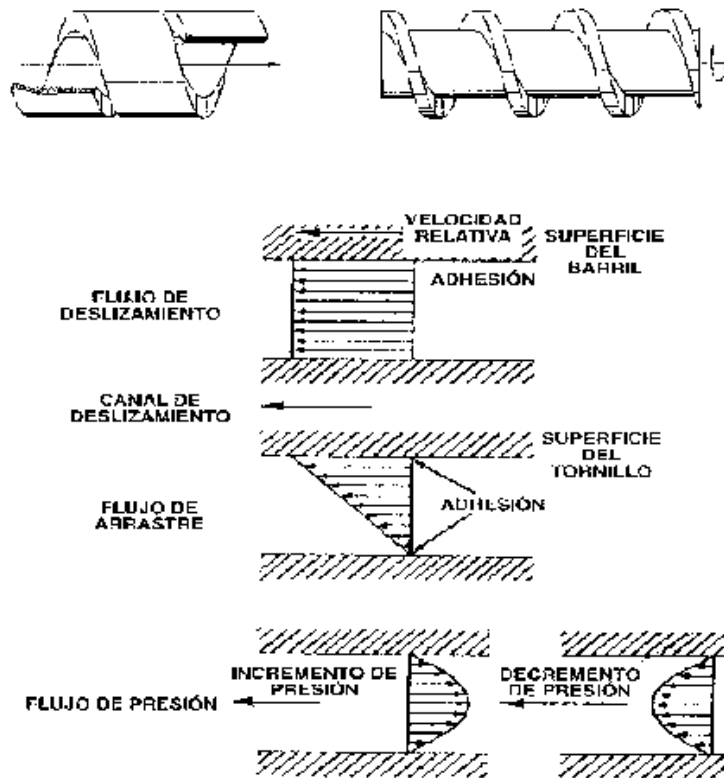


Figura 8. Esquema del tornillo simple y dirección del flujo de material (Miller, 1994).

Este proceso de extrusión tiene como inconveniente, alcanzar temperaturas muy elevadas, a diferencia del proceso en húmedo, con lo que disminuye la lisina disponible. En cambio, este procedimiento no es posible aplicarlo a cereales, por la imposibilidad física de trabajar con la máquina a este nivel de humedad (Brauna, 2002).

3. Proceso de extrusión en húmedo (Wet extrusión):

El proceso de “extrusión en húmedo”, consiste en el mismo procedimiento que la extrusión en seco, solamente que cuando el grano molido entra en la cámara de acondicionamiento donde la presión es baja (presión atmosférica), se inyecta vapor de agua y de allí se traslada directamente al barril de extrusión donde también se agrega vapor de agua, pero pasteurizada como se muestra en la figura 9.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

En la extrusión en húmedo es muy importante conseguir que el producto a procesar este muy bien molido, que se pueda regular la temperatura de las diferentes secciones del proceso para conseguir la máxima calidad nutritiva del producto, y que el agua y el vapor sean adecuados para conseguir el nivel de humedad necesario, la presión y la superficie de apertura de la matriz idóneos para que el producto salga con la máxima calidad y el mínimo costo (Brauna, 2002).

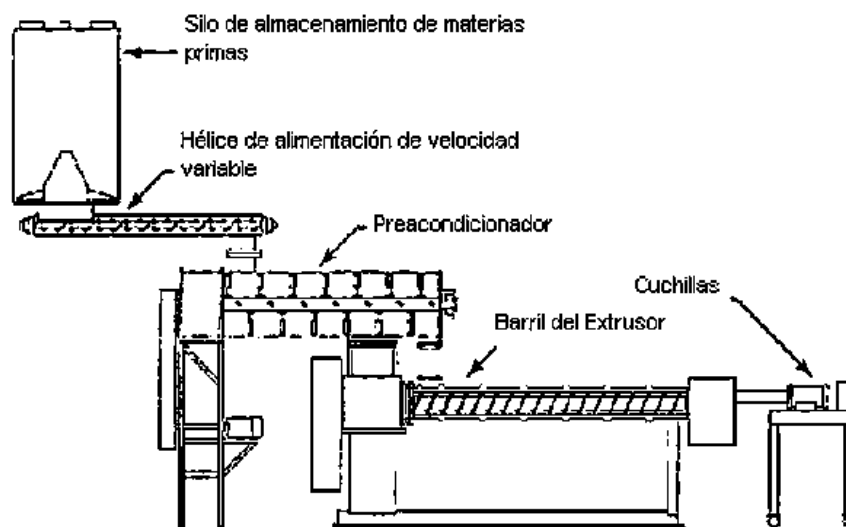


Figura 9. Componentes comunes de las extrusoras húmedas (de tornillo simple o doble)
(Mustakas, 1994).

III. MARCO TEORICO

3.0. Aspectos generales

En botánica el fruto es el órgano procedente de la flor, o de partes de ella, que contiene a las semillas, hasta que maduran y luego contribuye a diseminarlas. Desde un punto de vista ontogénico, el fruto es el ovario desarrollado y maduro de las plantas con flor. La pared del ovario se engrosa a transformarse en las paredes del fruto y se denomina pericarpio, cuya función es la de proteger a las semillas. Con frecuencia participan también en la formación del fruto, otras partes de la flor, además del ovario, como el cáliz o el receptáculo (Esaú K., 1998).

En sentido estricto, el pericarpio es la pared del ovario que queda tras la fecundación; en sentido amplio puede abarcar también los tejidos extra carpelares asociados.

Con sentido descriptivo, la pared del fruto comprende tres capas: exocarpio, mesocarpio y endocarpio.

El exocarpio o epicarpio es la parte externa del fruto; corresponde a la cara abaxial del carpelo y comprende la epidermis solamente, o la epidermis y los tejidos subyacentes. La superficie del exocarpio puede tener aspectos muy distintos, puede ser lisa, pruinosa (con ceras) o pubescente.

El mesocarpio es la parte media y corresponde al parénquima del mesófilo del carpelo, puede ser delgado y seco o abundante y carnoso. En este último caso, el gran desarrollo que alcanza el mesocarpio se debe a la multiplicación de las células parenquimáticas del mesófilo del carpelo. La clorofila, los ácidos orgánicos (ácido málico, oxálico, cítrico) y taninos que son abundantes al inicio del desarrollo del fruto, van siendo paulatinamente reemplazadas por azúcares (glucosa, levulosa), antocianinas, vitaminas, esencias y almidón. Tales cambios originan frutos de colores vistosos y de sabores generalmente gratos.

El endocarpio es la capa interna y corresponde a la superficie adaxial del carpelo. Rodea directamente a las semillas, sirve a menudo para la protección de estas, y en algunos casos puede ser muy dura y de consistencia pétrea formando el llamado hueso (pireno) en los frutos de tipo drupa. También puede ser carnoso,

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

pétreo o con pelos jugosos. En algunas especies, las células del endocarpio producen una pulpa succulenta que rodea las semillas (Dimitri M., 1987 y González A.M., 2009).

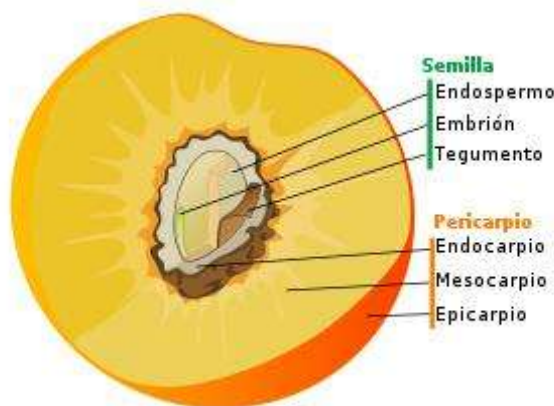


Figura 10. Composición del fruto (E., 1994).

3.1. Clasificación de las frutas

Se manejan clasificaciones en función de su naturaleza, estado, composición y características botánicas. Botánicamente, el primer paso en la clasificación de los frutos consiste en diferenciar si provienen de una sola flor o de varias, dando lugar, en este último caso, a las infrutescencias. Los frutos que provienen de una sola flor se dividen entre aquellos en los que en su formación han entrado órganos o elementos ajenos al propio ovario, lo que da lugar a frutos complejos, denominados pomo y pepónide, o los simples, formados únicamente a partir del ovario. Los frutos simples pueden ser, a su vez, secos o carnosos.

Infrutescencias: chirimoya, granada, higo, mora, piña...

Frutos complejos: pomo (manzana, pera, membrillo, níspero) y pepónide (melón y sandía).

Frutos simples carnosos: baya (aguacate, guayaba, kiwi, papaya, plátano, fresa, uva, frambuesa, grosella...), drupa (albaricoque, cereza y guinda, ciruela, coco, mango, melocotón, nectarina...), cápsula (litchi) y hesperidio (lima, limón, mandarina, naranja...).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Los frutos pueden acusar muy diversas formas según las especies: los hay globosos, piriformes, cilíndricos, espiralados, moniliformes, lenticulares, alados, entre otras muchas. En general cada especie se caracteriza por la forma particular de sus frutos. La superficie de los mismos puede ser lisa, verrugosa, espinosa, gloquidiada, pruinosa, pubescente, etc.

Respecto al tamaño de los frutos, es sumamente variable: los hay menores de un milímetro, como en el caso de diversas gramíneas y compuestas, hasta muy grandes, como es el caso de la sandía (García Brejio F.J., 1995; Esaú K., 1965 y García Brejio F.J., 1998).

3.2. Maduración de las frutas

La maduración de las frutas está ligada a complejos procesos de transformación de sus componentes. Las frutas, al ser recolectadas, quedan separadas de su fuente natural de nutrientes, pero sus tejidos todavía respiran y siguen activos. Los azúcares y otros componentes sufren importantes modificaciones, formándose anhídrido carbónico (CO_2) y agua (H_2O). Todos estos procesos tienen gran importancia porque influyen en los cambios que se producen durante el almacenamiento, transporte y comercialización de las frutas, afectando también en cierta medida a su valor nutritivo. Fenómenos especialmente destacados que se producen durante la maduración son la respiración, el endulzamiento, el ablandamiento y los cambios en el aroma, la coloración y el valor nutritivo (Abeles et al, 1992 y Knee M., 2002).

3.2.1. La respiración

La intensidad respiratoria de un fruto depende de su grado de desarrollo y se mide como la cantidad de CO_2 (miligramos) que desprende un kilogramo de fruta en una hora. A lo largo del crecimiento se produce, en primer lugar, un incremento de la respiración, que va disminuyendo lentamente hasta el estado de maduración. Sin embargo, en determinadas frutas después de alcanzarse el mínimo se produce un nuevo aumento de la intensidad respiratoria hasta alcanzar un valor

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

máximo, llamado pico climatérico, después del cual la intensidad respiratoria disminuye de nuevo; estas frutas son llamadas "frutas climatéricas".

Las frutas climatéricas normalmente se recolectan antes del citado pico para su distribución comercial, de forma que terminan de madurar fuera del árbol. Esto evita que se produzcan pérdidas, ya que el periodo de conservación de la fruta madura es relativamente corto. Durante la respiración de todas las frutas se forma etileno gaseoso. Este acelera los procesos de maduración, por lo que es preciso evitar su acumulación mediante ventilación, a fin de aumentar el periodo de conservación de las frutas. El etileno producido por una fruta madura, se acumula en las cercanías de frutas no maduras, desencadena rápidamente su maduración, lo que contribuye a acelerar el deterioro de todas ellas.

La etapa final del desarrollo del fruto es la maduración. Según la maduración sea o no regulada prioritariamente por el etileno (gas con acción hormonal), los frutos se clasifican en climatéricos o no climatéricos. Todos los frutos, al igual que cualquier órgano vegetal, producen etileno. Pero durante la maduración, algunos frutos denominados *climatéricos* incrementan grandemente la producción de etileno mientras que otros, denominados *no climatéricos*, prácticamente mantienen la tasa de producción de etileno casi invariable. En los primeros, el etileno es responsable de la coordinación del proceso de maduración, en los segundos no.

En *frutos climatéricos* se presenta el siguiente comportamiento:

- La aplicación de etileno adelanta el tiempo del climaterio (pico) respiratorio;
- La producción autocatalítica de etileno continúa luego de retirado el tratamiento con etileno;
- La magnitud de la tasa respiratoria es independiente de la concentración de etileno aplicado;
- Hay clara respuesta a la aplicación de etileno en la mayor parte de los índices de madurez propios de cada fruto (firmeza, color, degradación del almidón).

Los *frutos no climatéricos*, ante la aplicación de etileno, proceden de la siguiente forma:

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

- No adelantan el climaterio respiratorio;
- En ausencia de daños fisiológicos o patológicos no hay producción autocatalítica de etileno, ni siquiera después de aplicado un tratamiento con etileno;
- La magnitud de la tasa respiratoria se incrementa ante dosis crecientes de etileno aplicado;
- Desde un punto de vista de la maduración organoléptica no hay respuesta ante tratamientos con etileno, excepto en términos de desverdecimiento (degradación de clorofilas).

Por lo tanto, el etileno acelera la maduración de frutos de ciertas especies (denominados *frutos climatéricos*), tales como banana, chirimoya, ciruelas, granada, kaki, manzana, mango, palta, pera, papaya, tomate. Por el costo comercial, en la práctica se utiliza solo en contadas circunstancias, como en maduraderos de bananas, donde se aplica acetileno (un análogo del etileno que desempeña la misma función) a fin de uniformar la maduración del lote.

Los frutos cítricos son no climatéricos y en ellos el etileno no regula la maduración. Sin embargo, el etileno es capaz de acelerar la degradación de las clorofilas, pigmentos responsables del color verde de los frutos. En los frutos cítricos, el color no indica necesariamente el grado de madurez. Sin embargo, en naranjas y mandarinas, se exige un cierto grado de coloración a nivel comercial.

3.2.2. Proceso de maduración y evolución

Las transformaciones que se producen en las frutas debido a la maduración son:

- Degradación de la clorofila y aparición de pigmentos amarillos nombrados carotenos y rojos, denominados Antocianina - antocianos.
- Degradación de la pectina que forma la estructura.
- Transformación del almidón en azúcares y disminución de la acidez, así como pérdida de la astringencia.

Estas transformaciones pueden seguir evolucionando hasta el deterioro de la fruta. El etileno es un compuesto químico que genera la fruta antes de madurar y es fundamental para que la fruta madure. En las frutas maduras su presencia

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

determina el tiempo de la maduración, por lo que el control de su producción será clave para su conservación. En las no climatéricas la presencia de etileno provoca una intensificación de la maduración.

La manipulación de la maduración se puede hacer modificando la temperatura, la humedad relativa y los niveles de oxígeno, dióxido de carbono y etileno.

En la conservación a gran escala o industrial de la fruta el objetivo más importante para alcanzar dicha conservación será el control de su respiración, evitando la maduración de las frutas climatéricas e intentando que la maduración de las frutas no climatéricas sea lo más lento posible. La fruta antes de madurar se conserva en ambientes pobres en oxígeno, y si es posible con altas concentraciones de anhídrido carbónico. Deben colocarse en lugares oscuros y con temperaturas inferiores a los 20 °C. Estas condiciones controlan la producción de etileno. La fruta ya madura debe mantenerse en condiciones de poca luz, bajas temperaturas entre 0 y 6 °C y alta humedad relativa 90%. Hay que separar las frutas maduras de las que no lo están, ya que una sola pieza puede hacer madurar al resto.

3.3. Transformaciones en la fruta durante el proceso de maduración

Los cambios asociados con el proceso de maduración en la fruta de manera general se describen en la gráfica 1.

Se hace referencia principalmente a los cambios en la piel y pulpa fresca, la respiración y transpiración, durante el preclimaterio, climaterio y postclimaterio.

Inicialmente en la etapa de preclimaterio, se observa a la fruta como un sólido verde, caracterizado por una baja respiración o producción de CO₂ y un contenido interno de CO₂ en la fruta por debajo de esta, los altos contenidos de O₂ interno, en la fruta son predominantes en una relación de 3 de O₂, 1 de CO₂ en forma constante. Como es de esperarse la transpiración es baja debido a que la respiración de la fruta también lo es y la relación entre ellas es muy parecida.

Durante el climaterio o etapa de maduración. Se observa un drástico aumento en la respiración o producción de CO₂ hasta que alcanza su punto máximo y en

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

relación inversa la pérdida de O_2 , coincidiendo la máxima respiración de la fruta con el mínimo contenido de O_2 interno de la misma.

Posterior a este punto, se aprecia una ligera inflexión en la respiración, acompañada posteriormente de un aumento en la misma, que caracteriza la etapa de postclimaterio o etapa de antracnosis.

La transpiración con respecto a la respiración de la fruta en las diferentes etapas es muy parecida, coincidiendo en su punto máximo en el climaterio y su posterior aumento en la etapa del postclimaterio.

La piel de la fruta contiene estomas y estas continúan transpirando después del corte, la magnitud de estas depende de la temperatura y la humedad relativa; inicialmente la intensidad transpiratoria es baja y luego se estabiliza en un nivel continuo, en el climaterio aumenta drásticamente a medida que la fruta madura en forma continua e igual que la curva de respiración es mayor que en el preclimaterio.

Por lo regular, existe un aumento final en la pérdida de agua, la cual está relacionada con los cambios degenerativos de la piel, causados por ataques fangosos; debido a que la piel en este estado está envejeciendo, la pérdida difícilmente puede atribuirse a la transpiración.

La proporción pulpa-cáscara, aparenta estar regida, en gran parte por las relaciones de agua en la fruta, la proporción es aproximadamente de 1.2-1.6 en la fruta verde, según, su estado de sazón, y aumenta a 2.2-2.4 en la madurez avanzada. Llegando a 3 o más en la fruta podrida, después de un almacenamiento prolongado. Este aumento de la proporción pulpa-cáscara está relacionado con la variación de las concentraciones de azúcar en los dos tejidos. El azúcar aumenta con mayor rapidez en la pulpa, que en la cáscara y esta diferencia se refleja en un cambio diferencial de la presión osmótica. La consecuencia es que la pulpa extrae agua de la cascara, efectuándose un cambio proporcional en el peso de las mismas.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

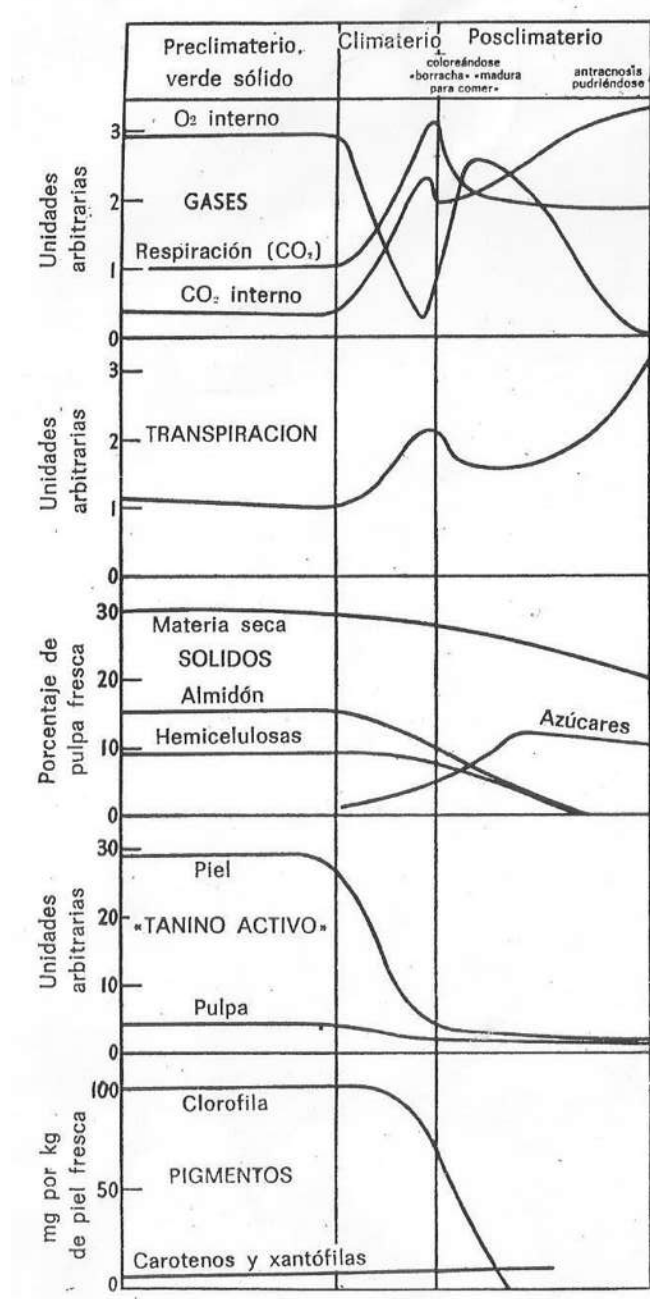


Grafico 1. Comportamiento general de la fruta durante la maduración (Stratton y Von Loesecke, 1931)

Stratton y Von Loesecke en 1931, hicieron mediciones de presión osmótica en algunas frutas, principalmente plátano. Observándose que la presión osmótica en todas las partes de la fruta no madura fue constante y que la maduración depende

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

de cambios en la presión osmótica, que provocan el movimiento de agua, del tallo al fruto y de la cascara a la fruta.

Por lo tanto la tendencia del contenido acuoso de la pulpa es una resultante de cuatro procesos: dos procesos la transpiración y la hidrólisis de la fécula, tienden a disminuir el contenido acuoso; los otros dos, la penetración de agua por osmosis desde la cascara y el tallo, y la producción de agua por medio de la respiración, tienden a aumentarlo.

En referencia a la parte solida de la fruta, la materia seca es preponderante, resaltando la presencia de almidones, hemicelulosas y la ausencia de azúcares, con contenidos altos de taninos en la piel y de manera incipiente en la pulpa. Los azúcares empiezan a observarse durante el climaterio, alcanzando su valor máximo en el postclimaterio, caso contrario al de los almidones y las hemicelulosas, que desaparecen totalmente.

Los almidones son reemplazados en gran parte por sacarosa, glucosa y fructuosa la maltosa ha sido también hallada en pequeñas cantidades, junto con trazas de otros cuatro azucares, entre los que se encuentra la rammosa. Los azucares están presentes en la fruta verde solo en muy pequeñas cantidades, oscilando del 1-2% en la pulpa tierna, aumentando del 15-20% en la madurez y coincidiendo el inicio de dicho aumento, con el periodo climatérico de la respiración.

Simultáneamente el almidón desaparece y su contenido baja hasta alrededor de 20% en la fruta verde, hasta 1-2% en la fruta madura

- Las hemicelulosas, pectinas y celulosa.

Durante la maduración su concentración tiene un comportamiento similar a la del almidón cayendo del 7-8% en la pulpa fresca verde al 1% en la madurez. Existen indicios de interconversión de almidón y hemicelulosas en la fase inicial de almacenamiento de la fruta, sin embargo, se ha observa una importante diferencia con el almidón, porque las hemicelulosas desaparecen haya madurado normalmente o no el fruto; en la frutas almacenadas en frio, el almidón desaparece lentamente por periodos prolongados de almacenamiento, hasta que alcanza un

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

grado de madurez avanzado. Las hemicelulosas por su parte desaparecen a una rapidez normal, lo que se atribuye a la pérdida de materia seca.

Las pectinas de la masa aumentan durante la maduración, pero su concentración es menor en todo momento al 0.5% del fruto tierno. La proporción de las mismas es cuatro veces mayor en la cascara y no muestran tendencia alguna en la maduración. Tampoco las hemicelulosas de la corteza presentan cambios durante la maduración, debiéndose el leve aumento de la concentración con relación al peso del fruto tierno, principalmente, a la pérdida de agua que pasa de la cascara a la pulpa. En la pulpa, la celulosa se halla más o menos constante entre el 1-2% y sufre un ligero descenso durante la maduración.

Los taninos se encuentran en los tejidos vegetales y son los responsables del sabor astringente, tienen carácter fenólico e investigaciones recientes sugieren que las leucoantocianidinas pueden ser un elemento importante de ellos; se han identificado en diferentes frutas la presencia de leucodelphinidina y leucocianidina. Algunas investigaciones han encontrado que los taninos bajan en la fruta madura, hasta en un quinto de su valor en la fruta verde, antes del climaterio; la misma fracción era de 3 a 5 veces más abundante en la cascara que en la pulpa y bajaba también drásticamente durante el climaterio. Apreciándose esto en los cambios de astringencia en el paladar.

El tanino activo que representa a la piel y pulpa de la fruta, manifiesta en el preclimaterio, relaciones de 5 a 1 de piel/pulpa, disminuyendo drásticamente en el climaterio y casi en su totalidad durante el postclimaterio.

La pigmentación en la fruta como es de esperarse es debido a la clorofila casi en su totalidad con respecto a los carotenos y xantofilas en relación de 95/1 aproximadamente. Los pigmentos se caracterizan casi la totalidad de clorofilas y una incipiente presencia de carotenos y xantofilas.

Los pigmentos con altos contenidos de clorofila son máximos, durante el preclimaterio, iniciando una disminución significativa en el climaterio hasta desaparecer en el postclimaterio, este cambio va acompañado por un ligero aumento en los carotenos y xantofilas.

3.4. Endulzamiento

- Azúcares: con la maduración aumenta el contenido de hidratos de carbono sencillos y el dulzor típico de las frutas maduras.

El valor calórico vendrá determinado por su concentración en azúcares, oscilando entre 30-80 Kcal/100 g.

- Ácidos: los ácidos van disminuyendo con la maduración. Desaparece el sabor agrio y la astringencia, para dar lugar al sabor suave y al equilibrio dulzor-acidez de los frutos maduros.

- Ablandamiento: la textura de las frutas depende en gran medida de su contenido en pectinas; protopectina y pectina soluble en agua. La protopectina atrapa el agua formando una especie de malla, y es la que proporciona a la fruta no madura su particular textura. Con la maduración, esta sustancia disminuye y se va transformando en pectina soluble, que queda disuelta en el agua que contiene la fruta, produciéndose el característico ablandamiento de la fruta madura. En algunas como la manzana, la consistencia disminuye muy lentamente, pero en otras, como las peras, la disminución es muy rápida.

- Cambios en el aroma: durante la maduración se producen ciertos compuestos volátiles que son los que proporcionan a cada fruta su aroma. La formación de aromas depende en gran medida de factores externos, tales como la temperatura y sus variaciones entre el día y la noche. Así, por ejemplo, los plátanos con un ritmo día/noche de 30/20°C, producen un 60% más de compuestos volátiles responsables de aroma que a temperatura constante de 30°C.

- Cambios en el color: la maduración de las frutas generalmente va unida a una variación del color. La transición más habitual, de verde a otro color, está relacionada con la descomposición de la clorofila, de modo que quedan al descubierto otros colorantes que antes enmascaraban dicho compuesto. Además,

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

aumenta la producción de colorantes rojos y amarillos característicos de las frutas maduras. El contenido de carotenos, por ejemplo, se incrementa fuertemente en los cítricos y el mango durante la maduración. La formación de otros colorantes como las antocianinas, suele estar activada por la luz.

3.5. Deterioro

- Alteración por microorganismos: muchos microorganismos atacan más fácilmente a las frutas dañadas mecánicamente que a las intactas, de modo que se hace necesario tomar precauciones durante su recogida, transporte y manipulación para evitar que un golpe sea el punto de ataque inicial de los microorganismos.
- Luz: Influye en la pérdida de sustancias nutritivas de forma indirecta, favoreciendo una serie de reacciones que tienen lugar al estar el alimento en contacto con el aire. Afecta sobre todo a ciertas vitaminas hidrosolubles (especialmente la vitamina C) y liposolubles, como la provitamina A o beta-caroteno.
- Oxígeno: cuando las frutas son peladas, troceadas o trituradas y sus tejidos se exponen al contacto con el oxígeno del aire, se producen coloraciones pardas. Esta alteración también puede deberse a golpes por una inadecuada manipulación y al propio proceso de maduración. Hay diferentes medios que pueden controlar la presencia de zonas pardas u oscuras, como la inmersión de las frutas en agua ligeramente acidulada inmediatamente después de peladas o cortadas.
- Calor: el calor produce pérdida de vitaminas, especialmente de vitamina C y también de flavonoides, colorantes de algunas frutas que se comportan como antioxidantes.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

- Acidez: la acidez contribuye a reducir las pérdidas de vitaminas y a evitar los cambios de color de frutas peladas, cortadas o trituradas (Simposium Mango, abril 2000).

3.6. Conservación y almacenamiento

Las frutas frescas no necesitan condiciones especiales de conservación (basta con lugares frescos, secos y protegidos de la luz solar), aunque podemos guardarlas en la parte menos fría de la nevera, siempre aisladas de otros alimentos para aumentar su vida útil.

3.7. Los principales componentes de la fruta

3.7.1. Agua

Es el principal componente de la fruta. Aproximadamente por cada 100 gramos de fruta, consumimos 80 a 90 gramos de agua.

- Reacciones de deshidratación y degradación térmica: Son reacciones que se producen por calentamiento de azúcares, y pueden estar catalizadas por ácidos o bases. Estas se pueden dividir en dos grupos:

1. Reacciones en las que no hay ruptura de enlaces carbono-carbono. Muchas reacciones de este tipo son de β -eliminación, las pentosas dan principalmente furfural y las hexosas hidroximetilfurfural (HMF), siendo el primero mucho más tóxico que el HMF. Otros productos del calentamiento de azúcares son el maltol y el isomaltol.

2. Reacciones en las que sí hay ruptura de enlaces carbono-carbono. La fragmentación de la cadena carbonada da lugar a la formación de compuestos como acetol, acetoína, diacetilo, y ácidos levulínico, fórmico, láctico, pirúvico y acético. Algunos de estos compuestos de bajo peso molecular dan aromas deseables o no (Simmonds N.W., 2009).

3.7.2. Hidratos de carbono

La fructosa es el azúcar de la fruta, como la fructosa es un monosacárido, el organismo la absorbe y asimila rápidamente. También están presentes glucosa y sacarosa. Los azúcares o hidratos de carbono simples como la fructosa, glucosa, sacarosa confieren el sabor dulce a las frutas maduras y suponen un 5-18% del peso de la porción comestible.

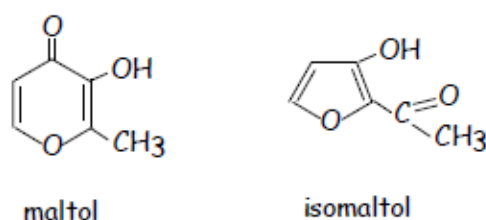


Figura 11. Maltol e isomaltol (Gray J., 2003).

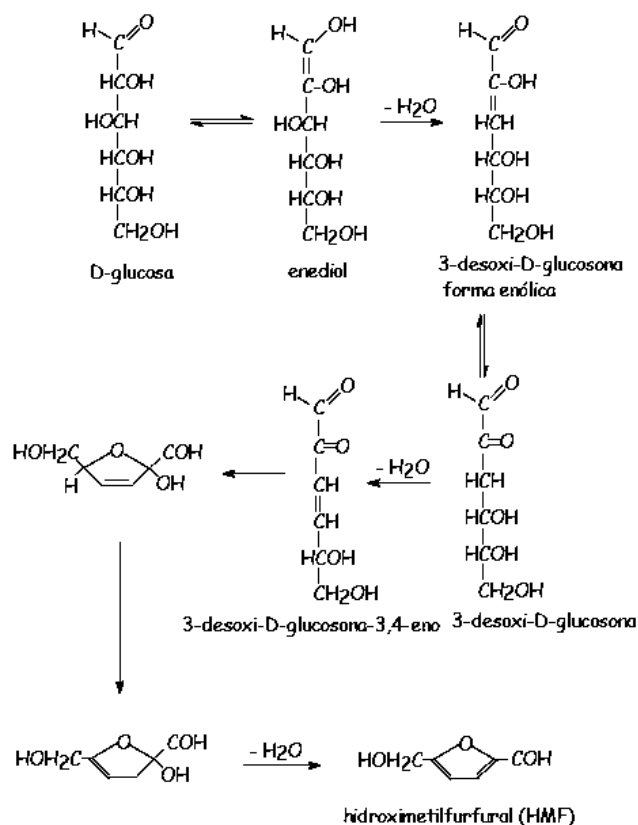


Figura 12. Deshidratación de glucosa y formación de hidroximetilfurfural (Brouns et al, 2005).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

En las frutas se encuentran también otros mono y disacáridos como xilosa, arabinosa, manosa, maltosa y sorbitol sustancia emparentada con los azúcares, que posee un conocido efecto laxante (Gray J., 2003 y Brouns et al, 2005).

3.7.2.1. Modificaciones de los hidratos de carbono

Los hidratos de carbono se pueden clasificar según su grado de polimerización en:

- Monosacáridos: glucosa, fructosa.
- Disacáridos: sacarosa, lactosa.
- Oligosacáridos: 3 a 9 unidades de monosacáridos.
- Maltooligosacáridos: maltodextrina, rafinosa, estaquiosa, fructo-oligosacáridos.
- Polisacáridos: más de 9 unidades de monosacáridos como celulosas, hemicelulosas, pectinas, inulina, hidrocoloides, etc.

Desde el punto de vista fisiológico, los carbohidratos se pueden clasificar en:

- Glicémicos: Son digeridos y absorbidos en el intestino delgado, elevando la glucosa en sangre. Dentro de este grupo se pueden distinguir los de digestión rápida, que producen una brusca elevación de la glucemia, y los de digestión lenta, que conducen a una baja respuesta glicémica.

- No glicémicos: No son digeridos en el intestino delgado. Estos hidratos de carbono no producen una respuesta glicémica, y comprenden lo que llamamos fibra. En este grupo encontramos polisacáridos, como la celulosa y las gomas, y oligosacáridos, como la rafinosa (trisacárido) y la estaquiosa (tetrasacárido). Hay que tener en cuenta que, si bien estos hidratos de carbono no son digeridos en el intestino delgado, pueden ser parcialmente digeridos por la microflora del colon (BeMiller J.N. y Huber K.C., 2010).

3.7.2.2. Azúcares

Las condiciones para la formación de hemiacetales; hemicetales, acetales y cetales.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Cuando un monosacárido se disuelve en agua se obtiene una mezcla en equilibrio entre la forma abierta y estructuras cíclicas. El equilibrio depende del azúcar y de la temperatura. Una consecuencia de esto es que el poder rotatorio inicial va cambiando con el tiempo hasta alcanzar el equilibrio, fenómeno que se llama mutarrotación. La velocidad de mutarrotación aumenta en medio ácido o alcalino.

Los grupos carbonilo de la función aldehído o cetona de los monosacáridos pueden reaccionar con un grupo alcohol de la misma molécula, dando hemiacetales o hemicetales, respectivamente. Estas estructuras cíclicas pueden tener 6 átomos (piranosas) o 5 átomos (furanosas). Posteriormente, el grupo hidroxilo de un hemiacetal o de un hemicetal puede reaccionar con el grupo hidroxilo de un alcohol originando acetales o cetales, respectivamente. Cuando el átomo de carbono del grupo carbonilo está implicado en la formación de estos anillos de piranosa o furanosa se transforma en quiral o asimétrico por estar unido a cuatro grupos diferentes. Así, se forman dos formas estereoquímicas llamadas anómeros (Whistler R.L. y Daniel J.R., 1993).

3.7.2.3. Almidones

En menor proporción se presentan en las frutas, hidratos de carbono complejos, formados por polisacáridos denominados almidones. Las frutas no maduras poseen entre un 0,5-2% de almidón, pero conforme van madurando ese porcentaje disminuye hasta casi desaparecer, salvo en los plátanos maduros, en los que el almidón puede superar el 3% de su peso total. El almidón es la mayor reserva de energía en casi todas las plantas, encontrándose en semillas, raíces y tubérculos.

Químicamente está compuesto por dos polisacáridos: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero mayormente lineal formado por residuos de α -D-glucosa unidos por uniones α (1, 4) con un bajo número de ramificaciones. El peso molecular de la amilosa varía entre 105 y 106 g/mol. Los complejos de amilosa con ácidos grasos y emulsificantes como mono y diglicéridos en los alimentos, pueden alterar la temperatura de gelatinización, la textura y el perfil de viscosidad

de la pasta de almidón, y limitar la retrogradación (Zavareze E.S. y Guerra Días, 2011).

La amilopectina es un polímero muy ramificado de residuos de α -D-glucosa unidos por uniones α (1,4), con ramificaciones en α (1,6). El peso molecular de la amilopectina es considerablemente mayor que el de la amilosa, entre 10^7 y 5×10^8 g/mol. R.W., (Hartel 2001 y Jacobs H. y Delcour J.A., 1998).

3.7.3. Proteínas

El valor plástico, viene dado en función de su contenido en proteínas, que habitualmente representa menos del 1% del peso fresco de las frutas. Las proteínas están compuestas por aminoácidos, diez de los cuales (leucina, isoleucina, valina, treonina, triptófano, metionina, lisina, fenilalanina, histidina y arginina) son esenciales para el ser humano. Una proteína que contenga, en cantidad y calidad, los diez aminoácidos esenciales se considera completa o de alto valor biológico. En las frutas, las proteínas son de bajo valor biológico. En los cítricos y fresas abundan sustancias nitrogenadas simples como la asparagina y la glutamina y los ácidos aspártico y glutámico. En las manzanas y las peras abunda la asparagina y las naranjas son ricas en prolina (Cheftelet al, 1989).

3.7.3.1. Modificaciones de las proteínas

Las proteínas están formadas por cadenas de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. Algunos de estos aminoácidos son esenciales, su función es otorgar textura y sabor a los alimentos, además de propiedades funcionales como emulsificantes, espumantes o gelificantes.

El fraccionamiento de las proteínas modifica la composición de aminoácidos, ya que el alimento se enriquece en algunos componentes proteicos, y se eliminan otros.

En la desnaturalización de proteínas se pasa de un estado ordenado a un estado desordenado, sin romper ninguna unión peptídica. Se producen modificaciones en la conformación de las proteínas (estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria), y

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

desenmascaramiento de zonas hidrofóbicas, dando como resultado el desplegamiento de la molécula.

Desde el punto de vista nutricional, se modifica la digestibilidad, en general esta aumenta, ya que al desplegarse quedan más sitios expuestos al ataque de las proteasas. La digestibilidad puede disminuir si el desplegamiento de la proteína va seguido de agregación. También se modifican las propiedades funcionales de las proteínas como solubilidad, capacidad de formar geles, capacidad emulsificante, capacidad espumante.

Entre los principales agentes de fraccionamiento o desnaturalización podemos mencionar:

- a) *Tratamientos térmicos suaves.* (temperaturas hasta 100°C o ligeramente superiores) que rompen uniones de baja energía, como puentes hidrógeno, y se refuerzan las interacciones hidrofóbicas. El desplegamiento de una proteína nativa con los grupos hidrofóbicos en el interior provoca la exposición de estos grupos al medio. La cocción de ciertas proteínas vegetales produce con frecuencia un aumento de digestibilidad por desenmascarar sitios de hidrólisis. Si hay interacciones hidrofóbicas proteína-proteína, lo que puede ocurrir si el grado de desplegamiento es elevado, se produce agregación, que puede ocasionar una disminución de la solubilidad y la precipitación de la proteína.

- b) *Tratamientos mecánicos:* Pueden provocar cambios en las uniones de las proteínas. La trituration en seco de preparaciones proteicas (concentrados o aislados) produce polvos, mejorando la capacidad de absorción de agua. Generalmente aumenta la solubilidad, y se modifican las propiedades espumantes y la absorción de aceite. Si se aplican fuerzas de cizallamiento importantes, como en la extrusión o en el hilado, puede haber modificaciones en la estructura cuaternaria.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

- c) *Altas presiones*: Las altas presiones (100-1000 MPa) afectan diversos componentes de los alimentos, así como también sistemas biológicos, como microorganismos. Según el principio de Le Chatelier, los fenómenos acompañados de una disminución de volumen, son favorecidos por un aumento de presión, y viceversa. En principio, en una macromolécula proteica, la formación de puentes hidrógeno, la ruptura de interacciones hidrofóbicas y la ruptura de puentes salinos van acompañados de una disminución de volumen, es decir que están favorecidos por un aumento de presión. Esto puede provocar la desnaturalización de proteínas, la disociación de subunidades de estructuras poliméricas, y la gelificación de proteínas.
- d) *Deshidratación*: La deshidratación provoca un aumento en la concentración de las proteínas, lo que puede producir agregación, y favorece las interacciones de las proteínas con otros componentes del alimento. El tamaño y la porosidad del polvo van a determinar la humectabilidad, la absorción de agua o de aceite, y la capacidad de dispersión (J.L. Cuq., 1996).

3.7.4. Fibra vegetal

Cada 100 gramos de fruta suponen consumir alrededor de 2 gramos de fibra. Los componentes de la fibra vegetal en las frutas son principalmente pectinas y hemicelulosas.

La pectina, un tipo de fibra soluble en agua, juega un papel fundamental en la consistencia de las frutas y posee efectos beneficiosos para la salud, se encuentra mayoritariamente en las frutas. La fibra en las frutas frescas se encuentra en una proporción entre 0,7% y 4,7%.

Las frutas con un menor contenido de agua o cuya porción comestible contienen semillas, tienen valores de fibra dietética más elevados. El contenido de fibra se ve reducido con el pelado de la fruta. La fibra soluble o gelificante como las pectinas

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

forman con el agua mezclas viscosas. El grado de viscosidad depende de la fruta de la que proceda y del grado de maduración (Whistler R.L. y Daniel J.R., 1993).

Se encuentran en los alimentos principalmente en las paredes celulares de las plantas, cumpliendo una función estructural, y también como gomas y mucílagos de distinto origen. En su composición encontramos pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (ramnosa, manosa, glucosa y galactosa) y ácidos urónicos.

La fibra se puede clasificar en fibra soluble y fibra insoluble:

- Fibra soluble: Es viscosa y forma geles. Dentro de la fibra soluble están las pectinas, las gomas, los mucílagos y algunas hemicelulosas. Esta fibra es metabolizada por las bacterias del colon. Al formar geles retardan el tránsito intestinal y actúan como un tamiz molecular que deja pasar las moléculas grandes y retiene las pequeñas, afectando la absorción de nutrientes como azúcares y grasa en el intestino delgado.

- Fibra insoluble: En este grupo están la celulosa, parte de las hemicelulosas y la lignina, un componente estructural de las paredes celulares de las plantas que no es un polisacárido. La celulosa y las hemicelulosas son parcialmente resistentes a la fermentación por las bacterias del colon. Esta fibra aumenta el volumen de las heces favoreciendo su tránsito intestinal. Las fibras que tienen ácidos urónicos en su composición con grupos carboxilo libres pueden fijar minerales como calcio, magnesio, potasio, hierro y zinc, inhibiendo su absorción (López L.B. y Suárez M.M., 2005).

3.7.4.1. Estructura de las fibras

- Celulosa

Consiste en cadenas lineales de alrededor de 3000 unidades de D-glucosa unidas por enlaces $\beta(1,4)$. Las moléculas se asocian fuertemente en forma paralela, presentando zonas amorfas y zonas cristalinas (Whistler, R.L. y Daniel, J.R. 1993).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

- Hemicelulosas

Están formadas por cadenas lineales y ramificadas de unidades de pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa, galactosa, manosa, ramnosa), ácidos urónicos (glucurónico y galacturónico) y algunas formas desoxi de azúcares. Tienen pesos moleculares mucho menores a la celulosa (Gray, J. 2003).

- Pectinas

Cuando un monosacárido posee un grupo carboxilo en el C6 en lugar de un hidroxilo, tenemos un ácido urónico. Las pectinas son polisacáridos de ácido poligalacturónico. Estas están formadas principalmente por cadenas de unidades de ácido D-galacturónico unidas por uniones $\alpha(1,4)$, parcialmente esterificadas con metanol, ramificaciones de ramnosa, arabinosa, xilosa y fructuosa. Se diferencian entre si según su contenido de ésteres metílicos, de acuerdo al porcentaje de grupos metilados tenemos pectinas de alto o bajo metoxilo.

Las pectinas forman parte de la fibra soluble y se encuentran en la laminilla media de las células vegetales (López L.B. y Suárez M.M., 2005).

- Hidrocoloides (gomas)

Se considera goma cualquier polisacárido soluble en agua, excluyendo al almidón y las pectinas, que posea la capacidad de aumentar la viscosidad de una solución y/o formar geles. Se utilizan como agentes estabilizantes o emulsificantes. Las gommas están formadas por cadenas lineales o ramificadas de hexosas, pentosas, desoxiazúcares, ácidos urónicos y/o galactosa sulfato. Según su composición, algunas son cargadas, mientras que otras no tienen carga (Whistler y Daniel, 1993).

3.7.5. Grasas y aceites

Su contenido es casi inapreciable (0,1-0,5%), excepto en el aguacate, que aporta un 14% de grasa, especialmente ácido oleico, saludable (72% del total de grasa) y

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

en el coco, con un 35% de grasa, mayoritariamente saturada (88,6% del total de grasa), menos saludable (López y Suárez, 2005).

3.7.5.1. Modificaciones de los lípidos

Los lípidos representan un papel muy importante en la alimentación: nutricionalmente aportan energía y componentes esenciales, entre ellos los ácidos linoleico (Ω -6) y linolénico (Ω -3) y vitaminas liposolubles. Además dan textura y sabor, forman emulsiones, y se utilizan como medio de cocción o emulsificantes.

Cuando los lípidos se alteran, la calidad de los alimentos se ve afectada desde el punto de vista de sus propiedades organolépticas, nutricionales y funcionales.

Según su estructura química los lípidos se pueden clasificar en tres grupos:

- **Lípidos simples**

Tienen solamente C, H y O. Son ésteres de alcoholes y ácidos grasos. En este grupo están los triglicéridos y las ceras.

- **Lípidos compuestos**

Además de C, H y O, tienen N, P y a veces S. Son ésteres o amidas de ácidos, alcoholes y bases. En este grupo están los fosfolípidos y los glicolípidos (López y Suárez, 2005).

- **Fosfolípidos**

Formados por glicerol, una base nitrogenada, ácidos grasos y ácido fosfórico (Frankel E.N., 1998).

- **Lípidos derivados**

En este grupo están los esteroides, que derivan del ciclopentano-perhidro-fenantreno. Entre ellos tenemos los de origen vegetal, llamados fitosteroles, como el β -sitosterol, el estigmasterol, y el ergosterol, que es el precursor de la vitamina D (McClements y Decker, 2010).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

- Fitosteroles

Entre los alimentos fuente de fitosteroles están las almendras, el maní, frutas, verduras, semillas y leguminosas.

Los fitosteroles son antagonistas del colesterol, por lo que bajan el colesterol LDL (colesterol asociado a lipoproteínas de baja densidad), o colesterol malo (Badui, 2006).

- Oxidación de lípidos

La oxidación de los lípidos es una de las principales causas de deterioro de los alimentos, por lo que tiene un gran interés económico. Puede darse en las materias primas, durante el procesamiento de los alimentos, o durante el almacenamiento del producto elaborado.

Los lípidos se pueden oxidar en los alimentos por vía no enzimática, o por vía enzimática, por acción de la lipooxigenasa.

Además, puede disminuir la calidad nutricional, ya que pueden destruirse ácidos grasos esenciales o vitaminas, sumado a que algunos productos de oxidación son potencialmente tóxicos. Los lípidos oxidados pueden reaccionar con proteínas (Nawar W.W., 1993).

3.7.6. Vitaminas

Las frutas nos aportan grandes cantidades de vitaminas, especialmente betacarotenos, poderosos antioxidantes que protegen las mucosas y la piel, destaca el contenido de vitamina C y de provitamina A, ambas de acción antioxidante. En menor proporción, se encuentran otras vitaminas del grupo B solubles en agua, biotina y ácido pantoténico. En general, son más ricas en vitaminas las variedades coloreadas, las de verano y las frutas expuestas al sol, dentro de un mismo árbol, los frutos orientados al sur son más ricos en vitaminas que los orientados al norte; los de la cúspide más ricos que los de las faldas y los exteriores más ricos que los interiores.

Según el contenido en vitaminas podemos hacer dos grandes grupos de frutas:

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

1. Ricas en vitamina C: Que contienen 50 mg/100, entre estas frutas se encuentran los cítricos, la guayaba, el melón, las fresas y el kiwi.
2. Ricas en vitamina A: Son ricas en carotenos, como los albaricoques, melocotón y ciruelas (Badui, 2006).

Durante la cosecha y el procesamiento de alimentos de origen vegetal se puede dañar el tejido, lo que puede ocasionar que se pongan en contacto enzimas con sus sustratos, que en el tejido intacto se encuentran en compartimientos celulares separados. En alimentos de origen vegetal, se pueden producir cambios en la permeabilidad de membranas, liberándose enzimas de organelas celulares. En el caso de las vitaminas, los cambios enzimáticos son más importantes en alimentos de origen vegetal y, si bien son inevitables, se pueden minimizar con un procesamiento adecuado.

Como ejemplos se pueden mencionar la lipooxigenasa, que actúa sobre las dobles ligaduras de los carotenoides, termolábil, y la tiaminasa tipo II del té, los arándanos y ciertas coles, termoestable.

Los alimentos suelen someterse a diferentes tratamientos térmicos, con distintos objetivos: reducir la carga microbiana (pasteurización, esterilización), eliminar componentes antinutricionales o tóxicos termolábiles, aumentar la digestibilidad, o en el caso del escaldado inactivar enzimas que causan deterioro.

3.7.6.1. Modificaciones de las vitaminas

Las vitaminas pueden actuar como coenzimas, como las del complejo B, como antioxidantes como la vitamina C, algunos carotenoides y la vitamina E, en la regulación genética la vitamina A y como hormonas la vitamina D. Comprenden un gran número de compuestos, muy diferentes entre sí desde el punto de vista químico. Por esta razón, cada vitamina se comporta de un modo distinto con respecto a su estabilidad (Gregory III, J.F. 2010).

1. Vitaminas liposolubles

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Vitamina A: Se conoce como vitamina A al todo-transretinol, y sus derivados retinal y ácido retinoico, y como provitamina A, a los carotenoides, en particular los α , β y γ -carotenos (Lehninger, 1978).

Los carotenos no tienen actividad vitamínica, pero en la mucosa intestinal y en el hígado por acción enzimática se transforman en vitamina A. Son isoprenoides con un anillo de seis átomos y una cadena lateral de 11 átomos de carbono.

La vitamina A (retinol libre o esterificado, frecuentemente con ácido palmítico) en los alimentos de origen vegetal que contienen carotenoides, como el β -caroteno, y pueden convertirse en vitamina A activa.

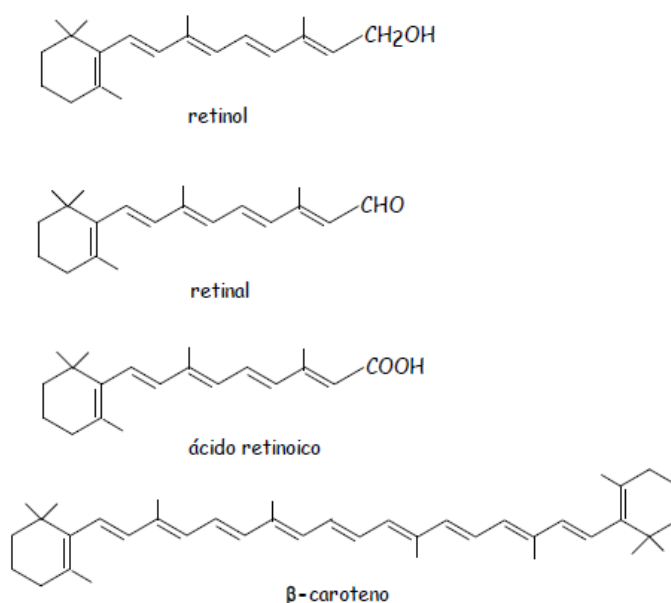


Figura 13. Vitamina A y β -caroteno (López y Suárez, 2005).

La vitamina A presenta dobles enlaces en su cadena lateral, que pueden oxidarse por la presencia de luz, oxígeno, hierro y cobre, altas temperaturas, peróxidos lipídicos.

Otra posible alteración de la vitamina A o los carotenoides es la isomerización, de la forma cis, activa, a varios isómeros trans, que puede tener lugar durante el procesamiento térmico o por exposición a la luz o a ácidos. La conversión a isómeros cis produce una pérdida de actividad de vitamina A, mayor o menor dependiendo del isómero formado.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

- Modificaciones enzimáticas: Los carotenoides se pueden modificar por acción de la lipooxigenasa, que actúa sobre las dobles ligaduras de estos compuestos.
- Tratamientos físicos: El almacenamiento prolongado en general no disminuye mucho la disponibilidad de la vitamina A.
- Tratamientos térmicos: Durante la cocción se puede perder un mayor o menor contenido de vitamina A, dependiendo del proceso y de la fuente de vitamina, ya que esta última puede condicionar en parte su entorno (pH, fuerza iónica, actividad acuosa, oxígeno disuelto, presencia de metales) (Código Alimentario Argentino. 2012).

Vitamina E

Varios compuestos tienen actividad de vitamina E: α , β , γ y δ tocoferoles y α , β , γ y δ tocotrienoles. Son componentes naturales de las membranas biológicas.

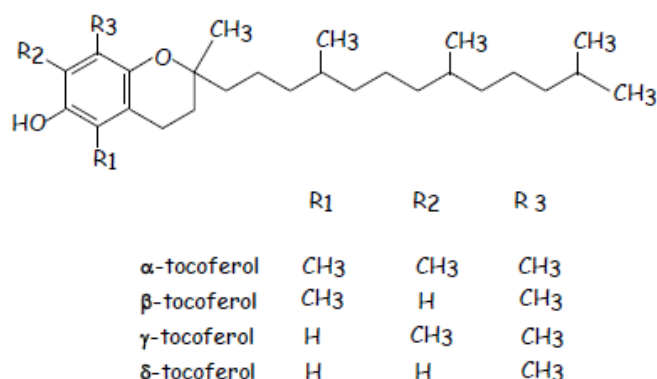


Figura 14. Vitamina E (López y Suárez, 2005).

La principal fuente de vitamina E son los aceites vegetales. El aceite de girasol y el de maíz, así como las frutas secas, contienen entre 20 y 50 mg de vitamina E cada 100g.

Los tocoferoles se oxidan en presencia de oxígeno o radicales libres, sobre todo si están en contacto con metales.

Los tratamientos térmicos en condiciones aerobias pueden ocasionar pérdidas importantes de vitamina E, por lo tanto es sensible a la luz.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Se utiliza α -tocoferol para minimizar la formación de nitrosaminas en el curado de carnes. En determinadas condiciones se utiliza como antioxidante (Gregory III J.F., 2010 y Frankel E.N., 1998).

Vitamina K

Entre los compuestos naturales con actividad de vitamina K encontramos la filoquinona (vitamina K1) en las hortalizas de hojas verdes, y las menaquinonas (vitamina K2), que tienen una longitud de cadena variable y son producidas principalmente por la flora intestinal. La menadiona es una forma sintética que se utiliza en alimentos fortificados y en suplementos nutricionales (Gregory III J.F., 2010).

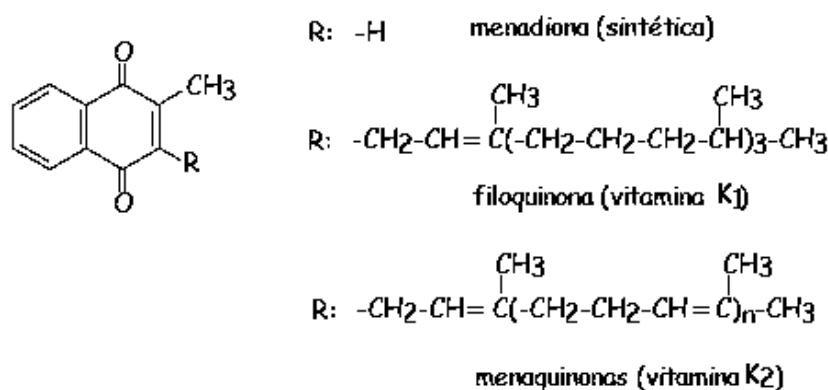


Figura 15. Vitamina K (Gregory III J.F., 2010).

Los alimentos con mayor contenido de vitamina K son los vegetales de hoja verde, entre ellos la espinaca, la acelga, las chauchas y el berro, con 200 a 500 μg cada 100 g, y el brócoli, el repollo, los repollitos de Bruselas, la lechuga, los espárragos, y los aceites de soja, canola y oliva, con un contenido de vitamina K entre 50 y 190 μg cada 100 g.

- Tratamientos térmicos: La vitamina K es resistente a las altas temperaturas. Es sensible a la luz. Es estable en presencia de oxígeno (López y Suárez, 2005).

2. Vitaminas hidrosolubles

Vitamina B1 (tiamina)

La tiamina puede encontrarse en varias formas fosforiladas, interconvertibles: el monofosfato de tiamina, el trifosfato de tiamina, y el pirofosfato de tiamina (PPT), siendo esta última la más importante. El mononitrato y el hidrocloreto de tiamina se utilizan en alimentos fortificados y en suplementos nutricionales (López y Suárez, 2005).

Entre los alimentos con mayor contenido de tiamina podemos mencionar la levadura de cerveza, la carne magra de cerdo, las legumbres, los cereales integrales. Es junto con la vitamina C, una de las vitaminas más inestables.

- Fraccionamiento: En la refinación de cereales se pierde tiamina, que se encuentra en los tegumentos. Se pierden cantidades apreciables de tiamina por solubilización, en el lavado.
- Tratamientos térmicos: Se destruye por calentamiento prolongado, por ejemplo en el enlatado.

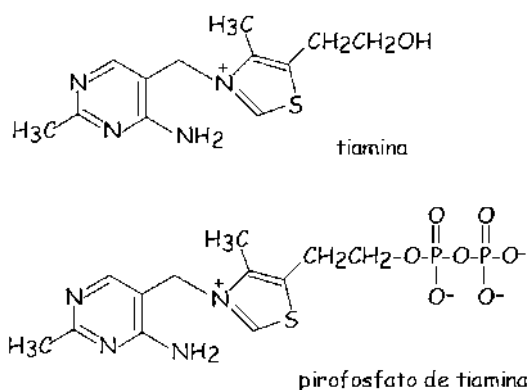


Figura 16. Tiamina y pirofosfato de tiamina (LehningerA.L., 1978).

Ciertos flavonoides, como la quercetina, la dihidroquercetina, y los ácidos clorogénico y cafeico, favorecen la degradación de la tiamina a pH neutro, formándose disulfuro de tiamina.

Los taninos pueden inactivar la tiamina, mientras que las proteínas y los hidratos de carbono pueden retrasar su degradación por el tratamiento térmico o causado por el bisulfito.

Vitamina B3 o PP (niacina)

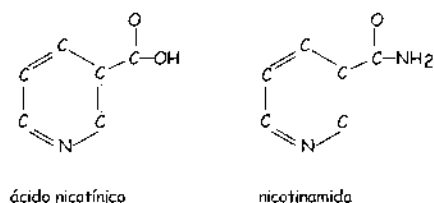


Figura 17. Niacina (Lehninger A.L., 1978).

Llamamos niacina al ácido nicotínico y a la nicotinamida derivada de este ácido. Las coenzimas activas de la niacina son la nicotinamida adenina dinucleótido (NAD) y la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADP).

- Algunos alimentos fuente de niacina

La niacina no sólo es aportada por los alimentos, también se puede obtener por biosíntesis a partir del triptófano. Para la conversión de triptófano en niacina son necesarios el hierro y como cofactores enzimáticos las vitaminas B2 y B6.

Es una de las vitaminas más estables. Presenta muy pocas pérdidas durante el almacenamiento (ídem).

Vitamina B5 (ácido pantoténico)

El ácido pantoténico es un componente de la coenzima A (CoA). Químicamente es una β-alanina unida a través de un enlace amida al ácido pantoico (2,4-dihidroxi-3,3-dimetil butírico).

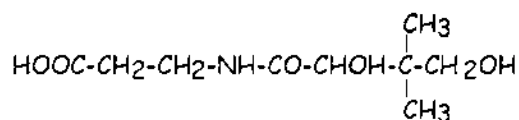


Figura 18. Ácido pantoténico (Gregory III J.F., 2010).

El ácido pantoténico se encuentra ampliamente en alimentos de origen vegetal, y se puede sintetizar en el colon por la microflora presente. Se encuentra en mayor cantidad hortalizas, cereales integrales. La forma sintética, el pantotenato de calcio, se utiliza en la fortificación de alimentos y en suplementos vitamínicos.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Como otras vitaminas solubles, el ácido pantoténico se puede perder por lixiviación (extracción sólido-líquido), entre un 30 y un 80%. Es sensible a la temperatura, dependiendo de la severidad del tratamiento térmico (Gregory III J.F., 2010).

Vitamina B₆

Tienen actividad de vitamina B₆ la piridoxina, el piridoxal y la piridoxamina. La diferencia es el sustituyente del C en la posición 4. La principal forma activa de la vitamina es el fosfato de piridoxal (PLP).

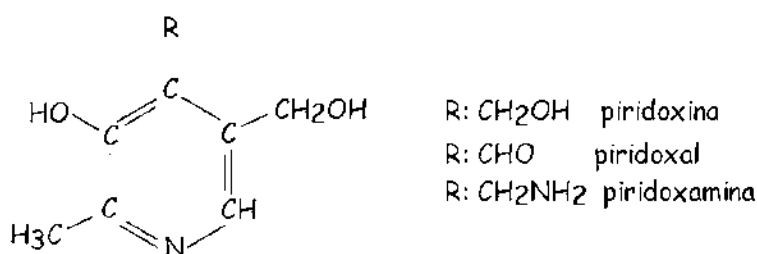


Figura 19. Vitamina B₆ (López y Suárez, 2005).

En alimentos de origen vegetal, la biodisponibilidad es menor, ya que se encuentra en una forma glicosilada. Entre los alimentos más ricos en esta vitamina podemos mencionar las frutas secas, las legumbres y los cereales integrales, con 1 mg cada 100 g. En la fortificación de alimentos se usa fundamentalmente el clorhidrato de piridoxina.

Vitamina B₉ (ácido fólico)

El ácido fólico es el ácido pteroil-L-glutámico, que consta de una molécula de 2-amino-4-hidroxipteridina unida a través de un metileno al ácido para amino benzoico (PABA). Éste está unido a su vez, por su grupo amino, a una o varias moléculas de ácido glutámico. El término “folatos” se utiliza para denominar compuestos químicamente similares al ácido fólico, que tengan su actividad a nivel nutricional. En la naturaleza se encuentran principalmente las formas poliglutamilo de los 5, 6, 7, 8-tetrahidrofolatos, con distintos sustituyentes de un átomo de

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

carbono, como grupos metilo (-CH₃), formilo (-CHO), metileno (-CH₂-) o metenilo (-CH=) en las posiciones N5 o N10, o formando puentes entre estos nitrógenos. Éstas son las formas de las coenzimas activas. La forma principal que se presenta naturalmente en los alimentos es el 5-metil tetrahidrofolato. En la reducción a ácido tetrahidrofólico interviene la vitamina B12 (Gregory III J.F., 2010).

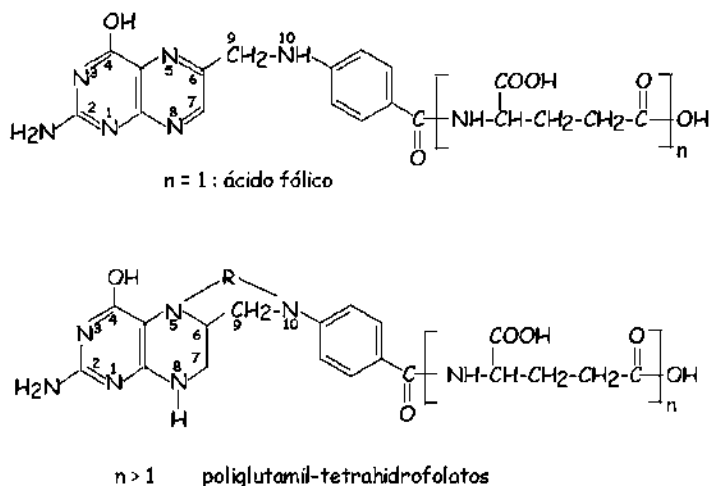


Figura 20. Ácido fólico y folatos. R: en general metilo (-CH₃), formilo (-CHO), metileno (-CH₂-) o metenilo (-CH=) en las posiciones N5 o N10 o formando puentes entre estos nitrógenos (Gregory III J.F., 2010).

Entre los alimentos con mayor contenido de folatos podemos citar la espinaca, las habas, los espárragos, las lentejas y los repollitos de Bruselas. Se estima que la absorción de ácido fólico sintético en suplementos en ayunas es del 100%, cuando está en alimentos fortificados, como cereales, su absorción se estima en 85%, y el folato natural de los alimentos se absorbería en un 50%.

Vitamina C

La vitamina C químicamente es una lactona de un azúcar ácido. Es un poderoso reductor, transformándose al perder 2H en ácido dehidroascórbico, que también presenta actividad de vitamina C. Si el anillo lactónico del ácido dehidroascórbico se hidroliza, pierde su actividad vitamínica. Lo que le da su carácter ácido es la

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

ionización del hidroxilo del C-3 y, aunque menos favorable, del C-2. Es muy polar y, por lo tanto, muy soluble en agua (Gregory III J.F., 2010).

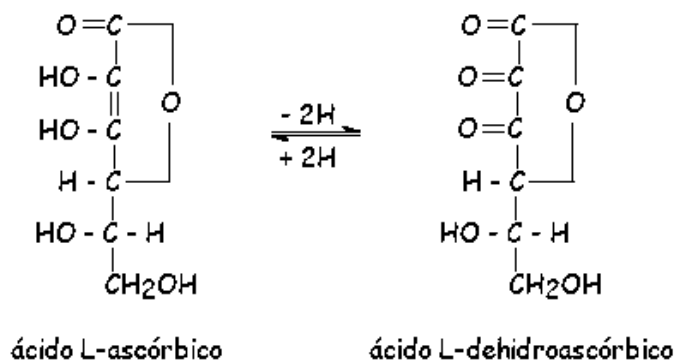


Figura 21. Ácidos ascórbico y dehidroascórbico (Lehninger A.L., 1978).

Las principales fuentes de vitamina C son las frutas y verduras. Entre los alimentos ricos en vitamina C podemos citar la guayaba, al pimiento verde crudo, el berro y el kiwi, con 100 a 130 mg cada 100 g de alimento, los repollitos de Bruselas, el brócoli, el coliflor, las fresas y la naranja, con 50 a 100 mg cada 100 g de alimento, el repollo, el pomelo, la acelga, la espinaca, las frambuesas y el tomate, con 20 a 50 mg cada 100 g, y las papas, las frutas no cítricas, la zanahoria, el apio y la lechuga, con menos de 20 mg cada 100 g de alimento. La yerba mate contiene en sus hojas alrededor de 100 mg de vitamina C cada 100 g de sólido seco, pero en el procesamiento de la yerba mate se destruye buena parte de la vitamina C, quedando alrededor de 22 mg cada 100g. Finalmente, en el mate que se consume el contenido de vitamina C es entre el 5 y el 6% del contenido inicial de la planta.

La ácido ascórbico oxidasa transforma el ácido ascórbico en dehidroascórbico. Esta enzima se inactiva por calor. La vitamina C, por ser muy hidrosoluble, se puede perder por solubilización. La estabilidad disminuye con el aumento de la temperatura. La luz favorece la destrucción de la vitamina C. El oxígeno Favorece la destrucción de la vitamina C, aunque también se destruye en condiciones anaeróbicas (Ramallo et al, 1998).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

- Degradación del ácido ascórbico.

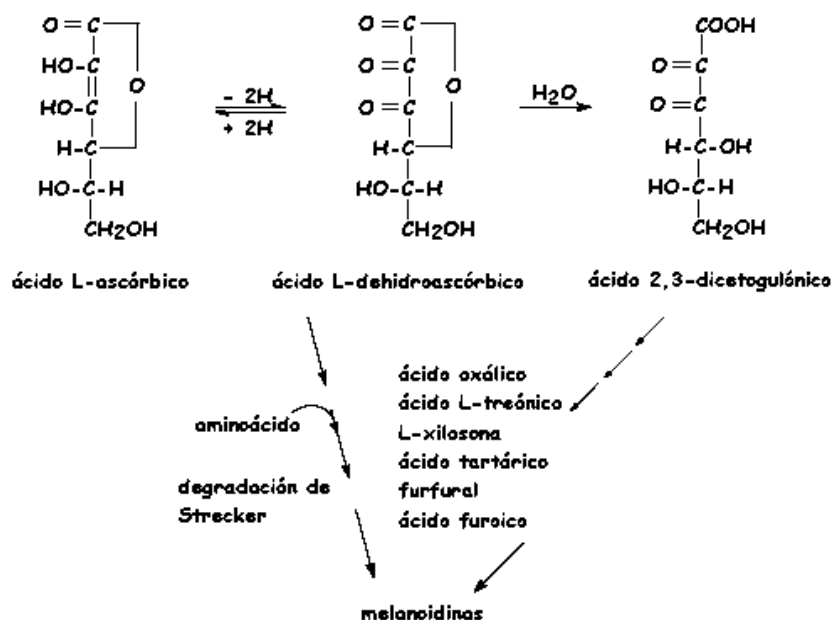


Figura 22. Pardeamiento no enzimático del ácido ascórbico (Badui, 2006).

El ácido ascórbico es un poderoso reductor que se oxida fácilmente a ácido dehidroascórbico. El ácido dehidroascórbico posteriormente se hidroliza a ácido 2,3-dicetogulónico, que luego se oxida, pudiendo deshidratarse y formar polímeros, todos compuestos sin actividad vitamínica. La reacción ocurre fácilmente en presencia de iones metálicos como el férrico y el cúprico, reacción favorecida por el calor y la luz. También influyen en la velocidad de reacción la concentración de oxígeno, el pH, y la actividad acuosa. Es decir que en la estabilidad de la vitamina C influyen el alimento y las condiciones de procesamiento y almacenamiento. La degradación puede ocurrir también en condiciones anaeróbicas, siendo ésta más importante en alimentos enlatados, no teniendo mucha relevancia en alimentos frescos. En condiciones anaeróbicas la destrucción es máxima a pH 4, y se ha observado en jugos de limón y concentrados de naranja.

La degradación del ácido ascórbico es similar a la de los azúcares. En medio ácido o neutro se producen entre otros compuestos L-xilosona, ácido tartárico,

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

ácido oxálico, furfural, ácido treónico y ácido furoico. En medio alcalino hay más fragmentación. Se pueden formar compuestos coloreados en presencia de aminoácidos (degradación de Strecker) o en ausencia de éstos (Fig. 22).

Función en alimentos:

- Debido a su carácter de antioxidante y reductor, el ácido ascórbico se agrega a numerosos alimentos.
- Por sus propiedades reductoras y por secuestrar radicales libres y oxígeno protege compuestos oxidables como los folatos, reduce iones metálicos, e inhibe la formación de nitrosaminas en carnes curadas con nitritos. Además se utiliza como antioxidante en aceites o en emulsiones (Belitz, H.D.; Grosch, W. 1997).

Vitamina H (Biotina)

La biotina tiene en su estructura los anillos del imidazol y del tiofeno condensado.

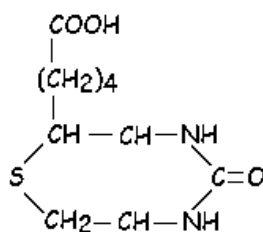


Figura 23. Biotina (Lehninger A.L., 1978).

Está presente en muchos alimentos, pero en concentraciones muy diferentes. Las frutas 1 µg cada 100 g. La flora intestinal sintetiza biotina, que puede absorberse en el colon.

La estabilidad de las vitaminas depende de la actividad acuosa; el rango de actividad acuosa en el cual la vitamina es más estable depende de si se trata de una vitamina hidrosoluble o liposoluble (Lehninger A.L., 1978).

Vitaminas hidrosolubles: en general, las vitaminas hidrosolubles se conservan bastante bien a actividades acuosas menores a 0,3. En la zona de hidratación de

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

multicapa, a medida que la actividad acuosa aumenta, la velocidad de degradación de las vitaminas también aumenta, debido a su solubilización y a la posible presencia de compuestos que favorezcan su destrucción.

Vitaminas liposolubles: la estabilidad de las vitaminas liposolubles y carotenoides con respecto a la actividad acuosa es similar a la de los lípidos insaturados, es decir que es mínima en la zona de hidratación de monocapa, que corresponde a actividades acuosas entre 0,2 y 0,3, y aumenta por encima y por debajo de esta zona.

En algunos alimentos se baja la actividad acuosa para evitar el desarrollo microbiano. Al mismo tiempo, se logra una mejor conservación de los nutrientes, dependiendo del tratamiento utilizado para disminuirla (Gregory III J.F., 2010).

3.7.7. Sales minerales

Al igual que las verduras, las frutas son ricas en potasio, magnesio, hierro y calcio. El consumo de frutas de manera diaria ayuda a regular el equilibrio mineral en el organismo.

Los minerales que se encuentran en los alimentos de origen vegetal dependen de muchas variables, como el suelo, los fertilizantes, el agua y la genética de la planta, por lo que puede haber variaciones en el contenido, en particular de elementos traza. El contenido de minerales de los alimentos de origen animal es menos variable, debido a mecanismos homeostáticos.

Algunos minerales son nutrientes esenciales y hay que incorporarlos con la dieta. Entre otras funciones, algunos forman parte de los tejidos, como el calcio, el magnesio, el flúor y el fósforo de los huesos, otros son cofactores enzimáticos, como el manganeso, el zinc y el cobre, o forman parte de moléculas como el hierro de la mioglobina y hemoglobina, y el yodo de las hormonas tiroideas, o intervienen en la presión sanguínea, como el sodio (Miller D.D., 2010).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Tabla 1. Elementos minerales (López y Suárez, 2005).

Macrominerales	Oligoelementos	Elementos trazas
		Arsénico
Calcio	Hierro	Boro
Fósforo	Cobre	Bromo
Sodio	Zinc	Cobalto
Potasio	Manganeso	Cromo
Cloro	Yodo	Molibdeno
Magnesio	Selenio	Níquel
Azufre	Flúor	Silicio
		Vanadio

Según las cantidades de ingesta diaria recomendadas, los minerales se pueden dividir en tres grupos:

1. **macrominerales**(las necesidades diarias son mayores a 100 mg)
2. **Oligoelementos** (las necesidades diarias son menores a 100 mg)
3. **Elementos trazas** (las recomendaciones de ingesta son del orden de los microgramos o nanogramos) (Tabla 1).

Los minerales no son afectados por los tratamientos térmicos, la luz, el pH, el oxígeno, ni otros factores que afectan a las vitaminas. Pero pueden perderse por lixiviación o por refinado. En la molienda de cereales suelen eliminarse el germen y los tegumentos, donde se encuentra la mayor parte de los minerales (López y Suárez, 2005).

3.7.8. Aromas y pigmentos

La fruta contiene ácidos y otras sustancias aromáticas que junto al gran contenido de agua de la fruta hace que ésta sea refrescante. El sabor de cada fruta vendrá determinado por su contenido en ácidos, azúcares y otras sustancias aromáticas. El ácido málico predomina en manzanas, cerezas, ciruelas, albaricoques, el ácido cítrico potencia la acción de la vitamina C y ejerce una acción desinfectante y alcalinizadora en la orina, se encuentra en naranjas, limones. Fresas, peras, guayaba, mandarinas, el ácido tartárico en la uva y el salicílico en fresas y fresones, este último de acción anticoagulante y antiinflamatoria. Por lo tanto los

colorantes, los aromas y los componentes fenólicos astringentes aunque se encuentran en muy bajas concentraciones, influyen de manera crucial en la aceptación organoléptica de las frutas (Guerrero et al, 2006).

3.7.9. Elementos fitoquímicos (colorantes, aromas y compuestos fenólicos)

A pesar de estar presentes en muy bajas concentraciones, influyen decisivamente en la aceptación y apetencia por las frutas, y muchos de ellos son, además, antioxidantes que contribuyen a reducir el riesgo de enfermedades degenerativas, cardiovasculares e incluso del cáncer.

Los pigmentos de origen vegetal más comunes son los carotenoides, las clorofilas, los pigmentos fenólicos, y las betalainas. La mayoría de estos pigmentos se encuentran en plástidos en el citoplasma de la célula vegetal. Muchos pigmentos naturales se utilizan como colorantes para alimentos (Schwartz et al, 2010).

• Carotenoides

A este grupo pertenecen más de 600 compuestos. Su color va del amarillo al rojo intenso. Químicamente consisten en ocho unidades de isopreno, la mayoría de configuración trans. Se clasifican en dos grupos: los carotenos y las xantofilas.

Los carotenos son hidrocarburos simétricos muy solubles en éter de petróleo y poco solubles en etanol, dentro de los cuales están los α , β y γ -carotenos (con actividad de provitamina A, y el licopeno (Fig. 24). Las xantofilas, como la luteína, son ácidos, aldehídos o alcoholes, solubles en metanol, etanol y éter de petróleo.

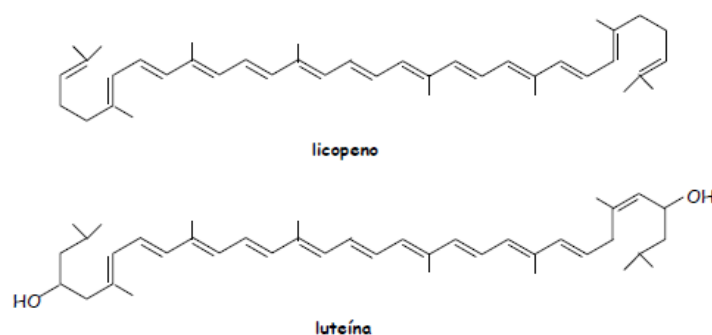
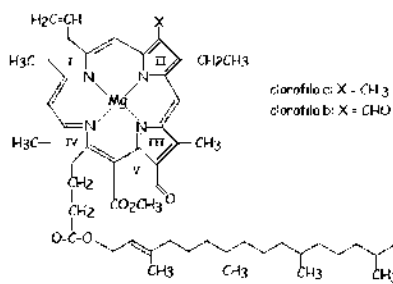


Figura 24. Licopeno y luteína (Schwartz et al, 2010).

Se encuentran principalmente en alimentos de origen vegetal: en frutas, como los cítricos, verduras, como la zanahoria y el tomate. En vegetales verdes se observan cuando se va perdiendo la clorofila. También se encuentran en ciertas algas, levaduras y bacterias. Al igual que la vitamina A, los carotenoides se pueden destruir por oxidación o por isomerización.

Todo lo que favorezca la aparición de radicales libres acelera la oxidación de los carotenoides. Por otro lado, inhiben la oxidación de los carotenoides el sulfito, los antioxidantes como el ácido ascórbico, y los secuestrantes de metales como el EDTA (Guerrero et al, 2006; Guerrero y Parkin, 2010).



“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Las clorofilas se encuentran en los cloroplastos de los vegetales verdes, unidas a lípidos, proteínas, lipoproteínas y, a veces, a los carotenoides. Estructuralmente la clorofila es una dehidroporfirina, formada por cuatro pirroles (I a IV en la Fig. 25), un anillo de ciclopentanona (V en la Fig. 25) y un átomo de Mg. La cadena lateral de ácido propiónico del anillo IV está esterificada con el fitol, un alcohol de 20 C, que le da su afinidad por los lípidos y su insolubilidad en agua.

La clorofila está presente en todas las células que realizan fotosíntesis. Las plantas verdes tienen además clorofila b.

Sobre la clorofila puede actuar la clorofilasa, que se inactiva con el escaldado.

La clorofilasa actúa durante la maduración, catalizada por el etileno, una hormona vegetal, durante el almacenamiento de vegetales frescos, y también en la fermentación de aceitunas verdes. Esta enzima cataliza la hidrólisis de la unión éster con el fitol, y puede actuar sobre la clorofila, produciendo clorofilida (clorofila sin fitol), o sobre la feofitina (clorofila sin Mg), produciendo feofórbido (clorofila sin fitol ni Mg), ambos productos solubles en agua. La feofitina a y el feofórbido a son color café, mientras que la feofitina b y el feofórbido b son color verde oliva (Frankel E.N., 1998).

- Tratamientos térmicos: La alta temperatura produce la formación de feofitina, en la que en lugar del átomo de Mg hay dos átomos de H. Si el calentamiento continúa se reemplaza el grupo carboximetilo del anillo de ciclopentanona por un átomo de H, formándose pirofeofitina. La eliminación del átomo de Mg es irreversible, aunque si están presentes iones como Zn (II) o Cu (II), forman complejos con la feofitina, de color verde brillante. La luz favorece la oxidación de la clorofila, sobre todo a pH ácido.

La clorofila le otorga a los alimentos de origen vegetal el color verde característico. Se busca conservar el color para no perder calidad organoléptica. En la oxidación de lípidos, la clorofila actúa como sensibilizador, pasando el oxígeno triplete a singulete. En este sentido, su presencia es perjudicial (Perla et al, 2012 y Ho et al, 2010).

• Compuestos fenólicos

Este grupo abarca un gran número de metabolitos secundarios de las plantas, entre ellos ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos y lignanos.

Los compuestos fenólicos contribuyen al sabor y color de los alimentos, y tienen propiedades como capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana. Por otro lado, los compuestos fenólicos inhiben la absorción del hierro de los alimentos (ídem).

• Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos tienen un anillo aromático hidroxilado y una función ácida en su estructura. Como ejemplo podemos mencionar los ácidos cafeico, ferúlico y cumárico, que se originan en la ruta del ácido siquímico. Estos ácidos se encuentran muchas veces esterificados con hidratos de carbono o con otros fenoles, o formando parte de taninos.

La ruta del ácido siquímico comienza con la reacción de la D-eritrosa-4-fosfato con el fosfoenolpiruvato. Por esta ruta se sintetizan también los aminoácidos esenciales (es decir que deben ser incorporados con los alimentos) tirosina, fenilalanina y triptofano, y también la lignina, un polímero aromático que se encuentra en las partes leñosas, de las plantas y en los alimentos es uno de los componentes de la fibra dietaria (Brecht et al, 2010).

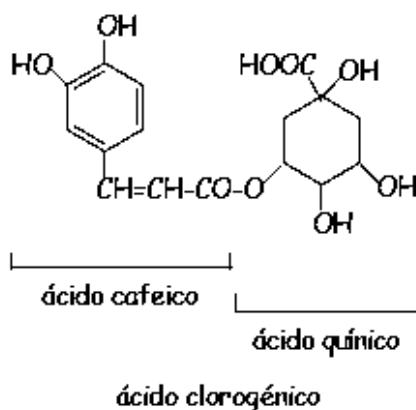


Figura 26. Ácido clorogénico (Cheftel, 1976).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

La principal fuente de ácidos fenólicos son los alimentos de origen vegetal, siendo su contenido mayor en las frutas que en las verduras. El contenido de compuestos fenólicos va disminuyendo a medida que la fruta madura, aumenta como consecuencia del estrés o al presentarse una infección por hongos, teniendo una acción protectora contra los patógenos (Heck et al, 2008).

• Flavonoides

La estructura de los flavonoides consta de dos anillos aromáticos unidos por un anillo heterocíclico. Se han descrito más de 5000 flavonoides diferentes, y son responsables en gran medida del sabor y color de las frutas y las verduras. La mayoría de los flavonoides en las plantas están unidos a azúcares (glicósidos). En la Fig. 27 podemos ver la estructura de distintos grupos de flavonoides (Perla et al 2012 y Newell-Mc Gloughlin, 2010).

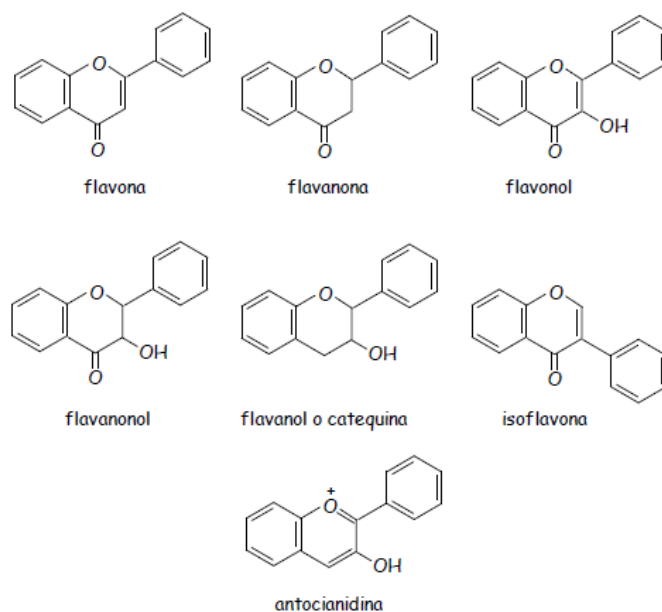


Figura 27. Estructura de distintos grupos de flavonoides (Ho et al, 2010).

• Antocianinas

Las antocianinas son glicósidos cuyo aglicón es la antocianidina. Son responsables del color rojo, azul o morado de muchos vegetales, dependiendo del pH, existiendo también formas incoloras. A medida que baja el pH se tornan más

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

rojas, lo que explica en parte el color de los vinos tintos. Las antocianinas pueden formar complejos entre sí o con otras moléculas. Si el contenido de taninos es alto, se pueden formar agregados que precipitan.

Las antocianinas son bastante inestables, se hidrolizan con facilidad dando antocianidinas, y cuando se oxidan toman un color pardo. También influyen en el color la presencia de sales de sodio, potasio, calcio, magnesio, aluminio, hierro o estaño.

Los flavonoides son propios del reino vegetal, los encontramos en frutas, verduras de hoja, raíces, tubérculos, especias, legumbres, té, café, vino tinto, entre otros (Guerrero et al, 2006).

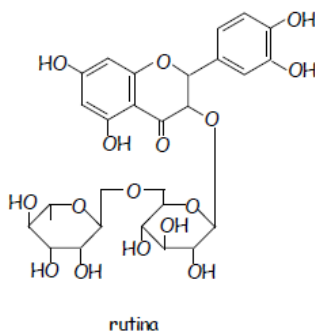


Figura 28. Estructura de la rutina (Heck et al, 2008).

Son responsables del color rojo, azul y púrpura de frutas como uvas, manzanas, arándanos, ciruelas y frutillas.

La mayoría de los flavonoides tienen actividad antioxidante. Los radicales libres generados en el organismo pueden causar daño en moléculas como ADN, lípidos y proteínas, y se han asociado al riesgo de enfermedades como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares. Los antioxidantes prevendrían su formación y se opondrían a su acción. Además, muchos flavonoides tienen la capacidad de actuar como quelantes de metales. En los alimentos hay diferentes compuestos con capacidad antioxidante: polifenoles, ácido ascórbico, carotenoides, tocoferoles, productos de la reacción de Maillard, etc., (Newell-Mc Gloughlin, 2010).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

• Taninos

Los taninos son compuestos fenólicos hidrosolubles, de peso molecular entre 500 y 3000, capaces de precipitar proteínas y alcaloides. Se pueden dividir en dos grupos: las proantocianidinas o taninos condensados, que son oligómeros o polímeros de las catequinas, y los taninos hidrolizables, constituidos por polímeros complejos derivados del ácido gálico o del ácido elágico, un dímero del ácido gálico (Fig. 29). En realidad, ambos grupos son hidrolizables. En su estructura intervienen ácidos carboxílicos, ácidos fenólicos y azúcares. El color de los taninos va del blanco amarillento al marrón claro, y le dan sabor astringente a los alimentos (Schwartz et al, 2010).

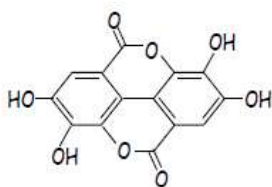


Figura 29. Ácido elágico (Guerrero et al, 2006).

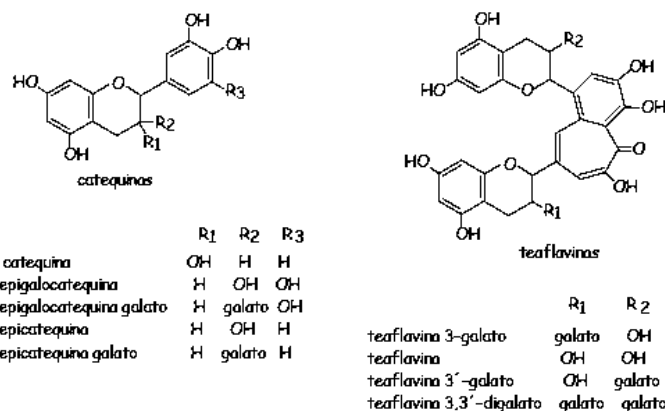


Figura 30. Catequinas y teaflavinas (Matsubara y Rodríguez, 2006).

Encontramos taninos en salvia, menta, vinos y té, contribuyendo a su sabor. Dentro de los alimentos que contienen en particular proantocianidinas podemos citar frutas, legumbres, cacao y vino. Los taninos participan en reacciones de pardeamiento enzimático en el café y el cacao, y le dan sabor astringente a frutas

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

no maduras, como manzana y pera, y a otros alimentos como el té. La astringencia se debe a la precipitación de los taninos con las proteínas de la saliva, que disminuye su poder lubricante (Ho *et al*, 2010).

Los compuestos fenólicos son muy diversos, y su estabilidad difiere de un grupo a otro. Por esta razón, mencionaremos en cada caso, cuáles son los grupos más susceptibles o más estables. El pardeamiento enzimático produce el color característico que aparece en ciertas frutas y verduras cuando se daña el tejido por golpe, por pelado o por corte. Hay muchas maneras de evitar o retardar el pardeamiento enzimático. Inactivación de enzimas por calor: En algunos casos se somete a la fruta o verdura a un tratamiento térmico (escaldado) para inhibir las enzimas que producen pardeamiento antes de congelarla o deshidratarla, ya que estos procesos dañan los tejidos favoreciendo el pardeamiento.

Si bien el oxígeno favorece el pardeamiento enzimático, en los vegetales que se van a almacenar conservando su actividad fisiológica se debe evitar la anaerobiosis, que provoca cambios indeseados. Los reductores transforman las oquinonas en difenoles, retardando o inhibiendo el pardeamiento. Entre los reductores que se utilizan para este fin están el ácido ascórbico, la cisteína y los sulfitos. Estos compuestos actuarían además inhibiendo la enzima (Guerrero *et al*, 2006).

• **Betalaínas**

Las betalaínas son pigmentos de colores similares a las antocianinas; las plantas pueden tener uno u otro grupo de pigmentos, pero no ambos.

Se dividen en dos clases: betacianinas (color rojo) y betaxantinas (color amarillo). Su estructura deriva de la condensación de una amina primaria o secundaria con el ácido betalámico. Están en las vacuolas de las células vegetales y son solubles en agua (Schwartz *et al*, 2010).

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

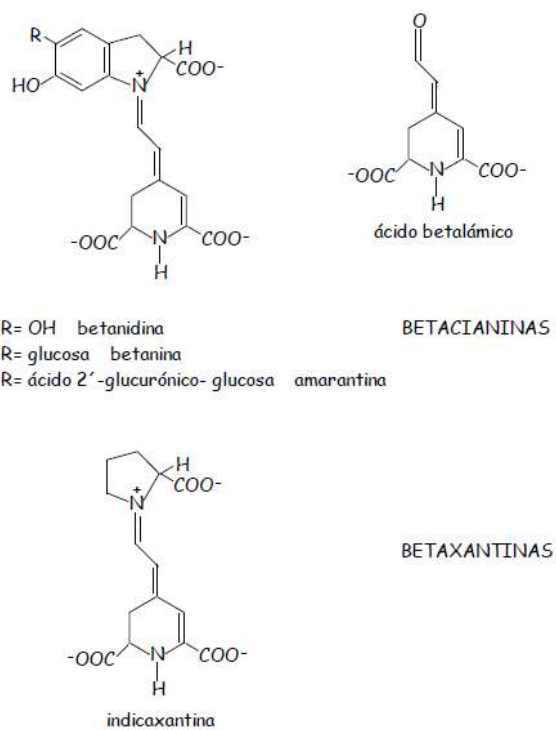


Figura 31. Estructura de las betalaínas (Schwartz et al, 2010).

HIPOTESIS

Mediante el proceso de extrusión se obtendrán extruidos de fruta que conservarán sus propiedades fisicoquímicas y nutrimentales y que posteriormente serán ofertados como botana.

JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo experimental de innovación de productos extruidos de fruta, plantea la generación de extruidos que conserven sus propiedades nutricionales, ante el procesamiento de la fruta, mediante las técnicas de corte, secado en estufa a baja temperatura y extruido mecánico.

En primera instancia durante el corte de fruta en rodajas (orejones), se rompe el equilibrio químico de la estructura, por el rompimiento de redes C-C, C-H, C-N, dobles enlaces, de tal forma que el sistema queda expuesto a reacciones de degradación, debido a la presencia de radicales libres. Las reacciones de oxidación principalmente se favorecen con el aumento de temperatura durante el secado y procesado durante la molienda de la fruta y extruido, en la cual además de cambios de temperatura, se generan gradientes de presión.

El planteamiento de inhibición de las reacciones de oxidación, se justifica en función del pH o potencial de hidrogeno, ya que entre mayor actividad del ion hidrogeno exista, las reacciones de oxidación son menores. Para lo cual se plantea la creación de un sistema de amortiguamiento sobre la fruta, esto se logra al sumergirla en una solución de ácido cítrico del 6 a 8%, debido a que los iones acetato restablecen el equilibrio del sistema y forman un sistema de buffer, tampón o de amortiguamiento con este ácido débil.

Además de esto se sabe que la extrusión genera mayor astringencia debido a la liberación de ácidos orgánicos, como el ácido tánico, málico, que favorecen las condiciones de acidez.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y el contenido nutrimental de la producción de extruidos de frutas deshidratadas.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- A) Producción de extruidos de fruta deshidratada.
- B) Determinar los cambios físicos durante el deshidratado de la fruta y el proceso de extrusión.
- C) Evaluar el valor nutricional de los productos extruidos, mediante análisis bromatológico.
- D) Plantear perspectivas de comercialización de fruta extruida.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

Materiales y equipos para el procesamiento de la fruta

Cortadora HOBART de 70mm, eléctrica

Estufa de gas, con termostato (0 – 300°C)

Extrusor marver, modelo 10012, serie 1009, 127/220 voltz, 60Hz, C.A. 1 C.P., Amp. 13.5/5.8 (de un tornillo)

Materiales y equipos para el análisis del producto terminado

Estufa de secado, casa, ríos, marca en trámite, ciclos 50/60

Mufla, Temco, thermoline steples imput control, Modelo F-A1315M, Serie: 112395A

Equipo Kjeldhal

Equipo Soxhlet

Digestor para fibra, Labconco Corporation, modelo 30001, serie: 098593

Centrifuga International Equipment Company a Division of Damon, Refrigerated, modelo PRJ

Espectrofotómetro, Spectronic instruments, modelo 4001/4

Potenciometro, Thermo scientific

Texturómetro Brookfield® TexturePro modelo CT V1.7 Build 28

Balanza analítica, Sartorius TE1245, ISO 9001

Desecador Pirex Rengland

Material volumétrico

Material de vidrio

Métodos

Conceptualmente se presenta en el siguiente diagrama de flujo, las etapas que llevarán a cabo en el procesamiento de la fruta, para su extruido.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

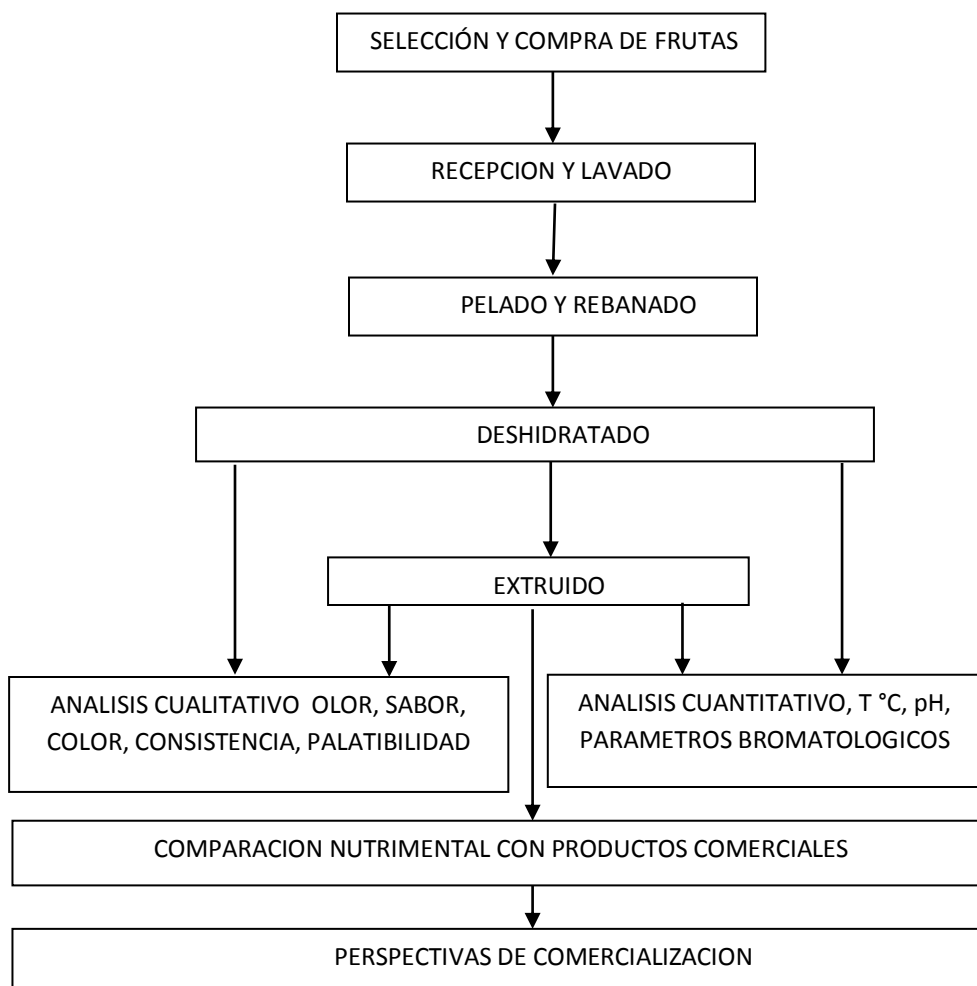


Diagrama de flujo 1. Procesamiento de la fruta extruida

Etapas de procesamiento:

Las etapas de procesamiento de la fruta, para el extruido de acuerdo al diagrama de flujo se describen de manera general.

La materia prima será; la fruta de mayor comercialización como lo es, la fresa, el mango, la manzana, la piña y el plátano.

1. Selección y compra de frutas

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Como puede observarse en el diagrama de flujo, la compra de fruta es importante, para un manejo adecuado, así como la selección al momento de comprarla (alimonada).

2. Recepción y lavado

Se seleccionó, en seguida se lavó en recipientes de plástico, con una solución de hipoclorito de sodio al 3%, por espacio de 5 minutos.

3. Pelado y rebanado

Después de esto y dependiendo del tipo de fruta se peló; como en el caso de la piña, mango y plátano, la fresa solamente se le quito la hoja y la manzana se descorazonó.

El rebanado se realizó en forma perpendicular al centro de la fruta en el caso de la piña y manzana, y paralelo a su centro el plátano y mango, en una rebanadora eléctrica con espesor de rebanada de 2mm., salvo el caso de la fresa que el corte es paralelo, pero por el tamaño de la fruta se realizará con cuchillo de cocina.

La fruta se colocó en una solución de ácido cítrico al 6%, por espacio de 3 a 5 minutos, para inhibir la oxidación, a excepción de las frutas ácidas como la fresa y piña.

4. Deshidratado

En seguida se colocó en una estufa de gas, tipo pizzería con rango de temperatura de 0–250°C, de dimensiones de 1m X 0.80m X 0.80m, con 4 bastidores de acero inoxidable de 1.0m X 0.80m cubiertos con malla de mosquitero. La temperatura de secado se estima entre 50 y 60 °C, con la intención conservar lo más posible las condiciones nutricionales de fruta.

5. Extruido

Se consideró el realizar deshidratados con humedad del 5, 10, 15, 20 y 30%, de tal manera que nos permitió determinar el rango de humedad que favorece el

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

extruido, esto se llevó a cabo en un extrusor de un tornillo, tipo de gusano helicoidal, con cuchilla y dado de acero inoxidable con panel circular para la producción de extruido en forma de filamentos (churros) de 1cm de diámetro, con motor de 1 caballo de fuerza.

Se extruyo fruta en forma simple (sin insumos), para determinar los posibles cambios nutricionales durante el procesado, también se consideró la producción de extruidos enriquecidos con algunos insumos (coco, chile, canela y miel de agave).

Etapas de análisis cualitativo

6. Panel de degustación

Al extruido obtenido en las etapas previas de procesamiento, se le realizaron las siguientes pruebas cualitativas, que se ilustran en la tabla 2, para estas se realizó un panel de degustación, con 100 alumnos de la facultad de Biología.

Tabla 2. Pruebas cualitativas a la fruta extruida	
Parámetro	Métodos cualitativos
Color	Visual
Olor	Olfativo
Sabor	Palativo
Consistencia	Tacto
Aspecto	Visual

Etapas de análisis cuantitativo

Para el análisis cuantitativo, se utilizaron las técnicas de análisis de alimentos, establecidas de acuerdo a las normas del AOAC (Association of Oficial Analytical Chemists), así como, también por el AOCS (American Oil of Oficial Chemists Society) y las normas oficiales mexicanas NMX y NOM, de acuerdo a la tabla, en la cual se describen cada uno de los parámetros, la técnica utilizada, el fundamento y el material.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Tabla 3. Técnicas de análisis bromatológicos utilizadas

Parámetro	Método	Fundamento	Material	Norma de referencia
Temperatura	Termométrico	Dilatación de mercurio	Termómetro de mercurio	NMX-F-083-1986
pH	Potenciómetro	Generación de una fem y medición de la diferencia de potencial	Potenciómetro digital	NMX-AA-089/1 -SCFI-2010
Humedad	Gravimétrico	Volatilización	Estufa de secado	NMX-F-083-S AOAC-934.01
Proteína	Volumétrico	Digestión acida, destilación y titulación de nitrógeno amoniacal	Equipo Kjeldhal y de volumetría	NMX-F-068-S AOAC-920.87
Carbohidratos	Gravimétrico	Indirecto, diferencia en peso		NMX-F-090-S
Fibra cruda	Gravimétrico	Digestión acido-base, combustión, pesado.	Condensador y Mufla	NMX-F-090-S
Extracto etéreo	Gravimétrico (Soxhlet)	Extracción con solventes, destilación,	Equipo Soxhlet y Rotavapor	NMX-F-089-S AOAC-920.85
Cenizas	Gravimétrico	Calcinación	Mufla	NMX F-066-S AOAC-962.02

7. Textura

Las pruebas fueron realizadas utilizando un Analizador de Textura marca Brookfield® TexturePro modelo CT V1.7 Build 28, a temperatura ambiente. Las pruebas se hicieron en los extruidos de las frutas, por triplicado.

Las condiciones son las siguientes:

Tabla 4. Condiciones de la prueba de textura

Descripción de las muestras	
Tipo de muestra	Fruta Deshidratada y Extruida
Forma	Cilindro
Longitud	50 mm
Ancho	7 mm

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Método del Test	
Tipo de Test	Compresión
Objetivo	2.0 mm
Esperar t	1 s
Carga de Activación	2.00 N (Newton)
Vel. del Test	1.00 mm/s
Vel. de Vuelta	1 mm/s
Contador de Ciclos	1.0
Velocidad	2.00 mm/s
Fr. Muestreo	10.0 points/s
Sonda	TA11/1000
Elemento	TA-RT-KIT
Celda Carga	25000 g

8. Determinación de ácido ascórbico mediante el Método de Tillmans.

% de Acidez Titulable (% de Ácido Cítrico)

NMX-F-102-S-1978. Determinación de la acidez titulable en productos elaborados a partir de frutas y hortalizas. La acidez libre (acidez titulable) representa a los ácidos orgánicos presentes que se encuentran libres y se mide neutralizando los jugos o extractos de frutas con una base fuerte, el pH aumenta durante la neutralización y la acidez titulable se calcula a partir de la cantidad de base necesaria para alcanzar el pH del punto final de la prueba. Bajo estas condiciones, los ácidos orgánicos libres y sólo una parte de fenoles están involucrados en el resultado final. Para reportar la acidez, se considera el ácido orgánico más abundante del producto vegetal el cual varía dependiendo de la especie de que se trate, por lo que el resultado se expresa en términos de la cantidad del ácido dominante.

9. Determinación de Polifenoles por el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu

El método espectrofotométrico desarrollado por Folin-Ciocalteu se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungstato sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico. La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno (W_8O_{23}) y molibdeno (Mo_8O_{23}), siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula. La absorbancia del color azul desarrollado se mide a 765 nm. Los resultados se expresan en mg de ácido gálico por 100 g de pulpa de frutos.

10. Análisis comparativo y perspectivas de comercialización

En función de los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos (cualitativo y cuantitativo) de la fruta extruida, se determinó el valor nutricional que presenta el producto a ofertar en el mercado. Para esto, se colectaron algunos productos comerciales y de acuerdo a su información nutrimental, se realizó un análisis comparativo.

Las perspectivas de comercialización se plantearon de acuerdo a un análisis general de costos de producción y venta del producto.

VI. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

6.1. Resultados del procesamiento de la fruta natural-deshidratada-extruida

Los resultados experimentales obtenidos en forma cualitativa, indicaron que la selección de la fruta es muy importante; en primer instancia la fruta debe encontrarse entre un 40 y 50% de la etapa del climaterio, cuando la fruta se dice que se encuentra alimonada, debido a que nutrimentalmente las condiciones son óptimas y se facilita su manejo, durante el procesamiento; su consistencia o textura es fuerte, ligeramente ácida, predominan los azúcares, colores vivos y olores atractivos y mayores tiempos de anaquel.



Figura 32. Fruta alimonada.

El corte de las rebanadas de fruta, presentaron buena consistencia, caso contrario sucedió, cuando se utilizó fruta madura, debido a que se propicia la perdida de consistencia de los orejones, principalmente, en el plátano, mango y manzana, que al tratarlos con la solución de ácido cítrico y colocarlos en los bastidores del deshidratador, perdieron la forma.



Figura 33. Rebanado de fruta.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Las frutas cítricas como la fresa, la piña, al no someterlas a este tratamiento, tienen mayor estabilidad en su manejo.

El corte de la fruta en orejones, rompe el tejido celular y genera una superficie inestable químicamente, que se estabiliza y se enriquece con vitamina C, al reaccionar con el ácido cítrico.



Figura 34. Fruta en solución de ácido cítrico.

La curva representativa del proceso de deshidratación de la estufa, muestra las etapas de eliminación de H_2O , a una temperatura de trabajo de 50–60°C.

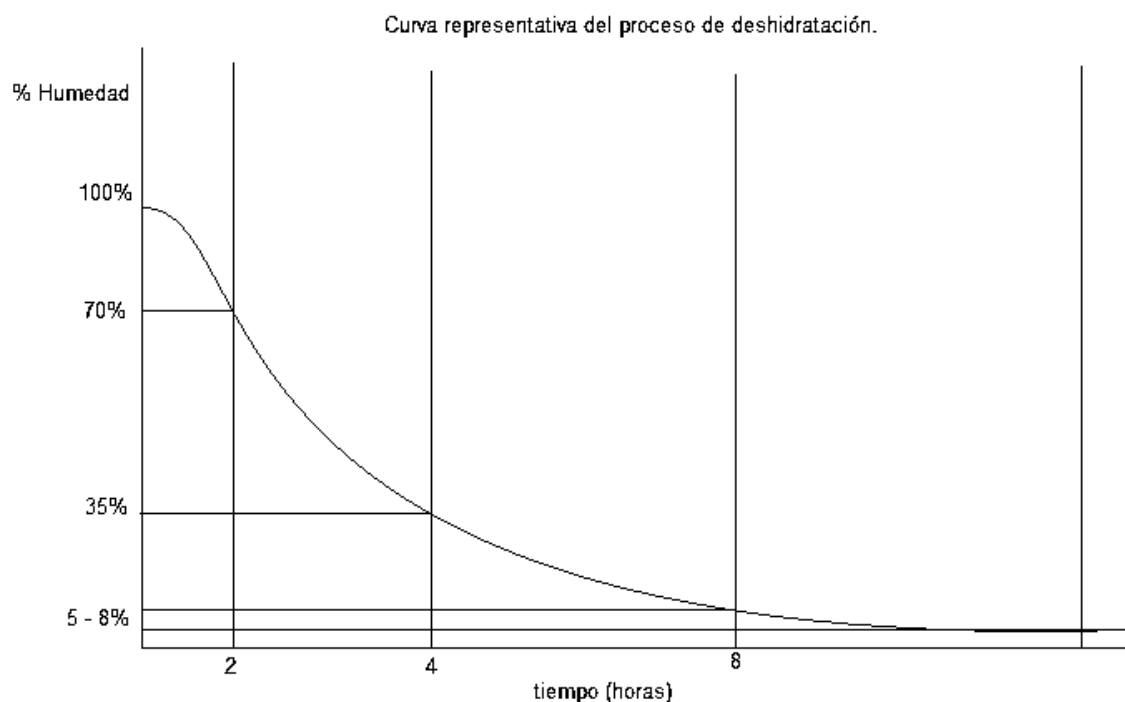


Grafico 2. Curva representativa del proceso de deshidratación.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Se observa que durante las primeras 2 horas el contenido de humedad es del 70%, y representa la zona de precalentamiento. Este es el tiempo necesario para que toda el agua de la fruta, alcance la temperatura a la que se igualan la presión de vapor, con la del medio ambiente.

Durante las siguientes cuatro horas se alcanzan valores de humedad del 35%, durante este periodo de tiempo las moléculas de agua en la superficie se evaporan con un flujo de masa constante, hasta alcanzar el punto conocido como humedad crítica para nuestra estufa. Esta no es una propiedad física de la naturaleza de la fruta y si del tamaño de las partículas que la forman y de las condiciones específicas del aire caliente utilizado en la deshidratación.

Se continuo con el calentamiento durante otras 4 horas, en este periodo de tiempo se obtuvo la máxima deshidratación, que alcanzo valores de entre un 5 y 8%.



Figura 35. Deshidratación de la fruta.

Durante la eliminación de humedad de las muestras, se observaron cambios de un 40% de espesor y 25% de encogimiento de los orejones, la fruta mostro colores vivos y consistencia fibrosa, acentuándose el sabor dulce y ligeramente acido.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Tabla 5. Diferencia significativa de la humedad de fruta deshidratada	
Fruta	Diferencia
Fresa Natural	89.6033 ^A
Fresa Deshidratada	13.4966 ^{E, F}
Fresa Extruida	12.2033 ^{E, F, G}
Piña Natural	86.6033 ^B
Piña Deshidratada	10.6033 ^{G, H}
Piña Extruida	9.2033 ^H
Mango Natural	82.5166 ^C
Mango Deshidratado	14.4066 ^E
Mango Extruido	13.3933 ^{E, F}
Manzana Natural	82.0100 ^C
Manzana Deshidratada	5.4800 ^I
Manzana Extruida	4.8033 ^I
Plátano Natural	63.8966 ^D
Plátano Deshidratado	11.3900 ^{F, G, H}
Plátano Extruido	10.5966 ^{G, H}

Para determinar el contenido de humedad adecuado para el extruido de la fruta se realizaron pruebas con muestras con contenidos de humedad de 5, 10, 15% y mayores al 20%. Las muestras con un 5% de humedad arrojaron resultados similares, observándose un gradiente alto de temperatura 65°C (alcanzando temperaturas de hasta 85 °C) del extruido durante la molienda, de consistencia muy plástica en caliente, con buenas propiedades degustativas y atractivas, sin

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

embargo, al enfriarse existe un gran endurecimiento, aumentando su hidrofobicidad.



Figura 36. Obstrucción del extrusor.

La alimentación continúa de fruta al extrusor con estos contenidos de humedad, propiciaron que se obstruyera el flujo en la boquilla, generándose una alta presión y calentamiento, de tal manera, que el extrusor se sobrecalentó y se trabó.



Figura 37. Fruta extruida de buena consistencia.

Las muestras con concentraciones de un 10 y 15% de humedad presentaron, un extruido con buena consistencia, plasticidad con forma definida, de colores y sabor atractivos, la fluidez dentro del extrusor, permitió obtener filamentos (churros) de

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

buen tamaño comercialmente de hasta 40-50cm, no se generaron altas presiones y el gradiente de temperatura del extruido, fue de entre 5 y 8 °C (hasta 33 °C).

En referencia a los extruidos de contenidos de humedad mayor al 20%, no presentaron buena consistencia, la molienda fue incompleta, observándose fruta poco molida, de apariencia pastosa y sin un agregado uniforme, no se observaron cambios de presión y temperatura.



Figura 38. Fruta extruida de mala consistencia y molienda incompleta.

Las pruebas realizadas nos permitieron establecer que para la extrusión de fruta, los contenidos de humedad ≥ 10 y $\leq 20\%$ es favorable, para obtener un extruido satisfactorio, en forma cualitativa. De tal manera, como se ilustra en el grafico 3, se pueden establecer tres regiones que relacionan el contenido de humedad y molienda, que nos permiten visualizar las características físicas del extruido.



Figura 39. Extruido de fruta con la humedad ideal.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

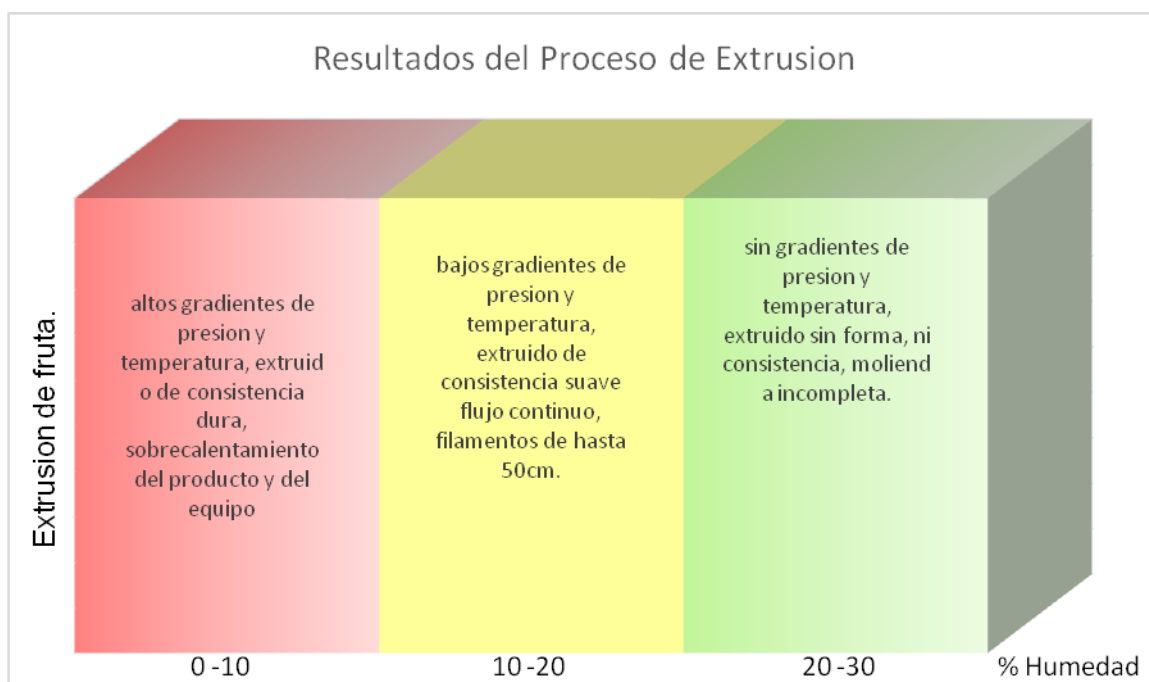


Grafico 3. Resultados del proceso de extrusión.

6.2. Etapas de análisis cualitativo

1. Panel de degustación

Análisis sensorial (escala hedónica y prueba descriptiva)

Finalmente se realizó un panel de degustación de los extruidos, con 100 alumnos del Primer Semestre de la Facultad de Biología, coincidiendo en que se tiene un producto de consistencia suave, colores atractivos, de sabor agrisulce y olor agradable.



Figura 40. Panel de degustación.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

La preferencia de los extruidos para los panelistas fue en el siguiente orden; piña, fresa, mango, plátano y manzana.

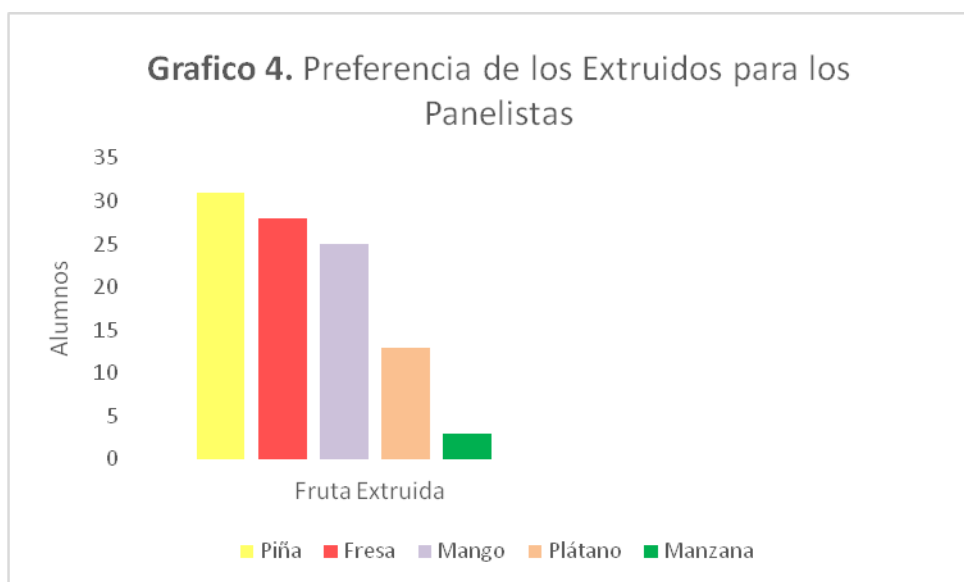


Tabla 6. Parámetros Evaluados en el Panel de Degustación						
Parámetros		Piña	Fresa	Mango	Plátano	Manzana
Sabor	Dulce					
	Agridulce	X	X	X	X	X
	Amargo					
Olor	Desagradable					
	Agradable	X	X	X	X	X
Color	Desagradable					
	Atractivo	X	X	X	X	X
Textura	Dureza suave	X	X	X		
	Dureza media				X	
	Dureza alta					X
Adhesividad al paladar	No presenta	X	X	X		X
	baja				X	
	Alta					

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Fracturabilidad	Baja	X	X	X	X	
	Media					X
	Alta					
Sequedad	Baja					
	Media	X	X	X	X	
	Alta					X
Acidez	Baja				X	
	Media	X	X	X		X
	Alta					

6.3. Etapas de análisis cuantitativo

2. Análisis bromatológico. En las tablas se presentan los resultados de los análisis bromatológicos realizados para las muestras de fruta natural, deshidratada y extruida.

Tabla 7. Resultados de los análisis bromatológicos realizados en las frutas de fresa y piña						
Parámetro	<i>Fresa</i>			<i>Piña</i>		
	Natural	Deshidratada	Extruida	Natural	Deshidratada	Extruida
Contenido energético	43 Kcal/100g	324.8 Kcal/100g	330.6 Kcal/100g	55.7 Kcal/100g	323.1 Kcal/100g	328.85 Kcal/100g
pH	3.3	3.5	3.4	3.2	3.8	3.6
Humedad en %	89.60	13.50	12.20	84.60	10.60	9.20
Carbohidratos	8.70	71.40	73.80	13.20	77.92	79.47
Fibra cruda	2.00	4.90	4.50	1.30	6.60	6.60
Proteína	0.70	4.40	3.90	0.50	2.10	2.00
Extracto etéreo	0.60	2.40	2.20	0.10	0.38	0.33
Cenizas	0.40	3.40	3.40	0.20	2.40	2.40

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Tabla 8. Resultados de los análisis bromatológicos realizados en las frutas de manzana, mango y plátano

Parámetro	Manzana			Mango			Plátano		
	Natural	Deshidratada	Extruida	Natural	Deshidratado	Extruido	Natural	Deshidratado	Extruido
Contenido energético	66.2 Kcal/100g	346.8 Kcal/100g	350.8 Kcal/100g	64.1 Kcal/100g	312.45 Kcal/100g	319.11 Kcal/100g	134.6 Kcal/100g	341.7 Kcal/100g	344.75 Kcal/100g
pH	4.0	3.7	3.5	4.6	3.9	3.8	4.7	3.7	3.6
Humedad %	82	5.80	4.80	82,52	14.40	13.40	63.90	11.40	10.60
Carbohidratos	15.80	83.54	84,90	15.00	75.13	76.77	32.00	79.28	80.81
Fibra cruda	1.60	6.10	5.90	1.20	6.30	5.80	1.50	1.10	1.10
Proteína	0.30	1.00	1.00	0.80	1.70	1.60	1.20	5.20	4.50
Extracto etéreo	0.20	0.96	0.80	0.10	0.57	0.53	0.20	0.42	0.39
Cenizas	0.17	2.60	2.60	0.36	1.90	1.90	1.20	2.60	2.60

En referencia al pH se observa de manera general que este, se encuentra en la región ácida, con pH's que oscilan entre 3.2 y 4.7.



Figura 41. Fresa y piña deshidratada y extruida.

En la tabla 4 la fresa y la piña natural presentan pHs de 3.3 y 3.2 respectivamente, aumentando a 3.5 y 3.8 en el deshidratado y de 3.4 y 3.6 en la fruta extruida. Lo interesante de esto, estriba en la capacidad de amortiguamiento a las reacciones de oxidación que presentan las muestras cítricas, debido a la presencia de la vitamina C.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”



Figura 42. Mango y platano deshidratados y extruidos.



Figura 43. Manzana deshidratada y extruida.

Los resultados obtenidos para la manzana, mango y plátano, en la tabla 5, similarmente presentan pH's de 4.0, 4.6 y 4.7 respectivamente, mostrando una disminución a 3.7, 3.9 y 3.7 en el deshidratado, atribuyéndose a la solución de estabilización con ácido cítrico, a la que se sometieron las muestras después del corte, finalmente se aprecia una ligera disminución posterior en los extruidos con pH's de 3.5, 3.8 y 3.6 atribuyéndose a que la extrusión, a el efecto de desnaturalización del deshidratado durante la molienda, el aumento de temperatura, y reacciones de hidrolisis.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

En función a los resultados de fibra cruda

Se observa en la fruta natural valores de entre 1.20 y 2.00, siendo el valor más bajo para el mango y el más alto para la fresa, la piña, plátano y manzana, presentan valores intermedios de 1.30, 1.50 y 1.60 respectivamente.



Figura 44. Determinación de fibra cruda en la fruta.

En los deshidratados como es de esperarse, los contenidos aumentan sustancialmente, siendo muy parecidos en el contenido de fibra, resaltando los valores de 1.10 como el más bajo para el plátano y de 6.60 para la piña.

De los resultados de los extruidos con respecto a los deshidratados se aprecian cambios incipientes en la concentración siendo estos menores a un 8%.

Proteína



Figura 45. Determinación de Nitrógeno proteico por el método Kjeldhal.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

La concentración de proteína obtenida es menor del 1% en la fruta fresca, en forma general y del 1 a 5.20% en el deshidratado, observándose una ligera disminución en los extruidos menor a un 10%.

Carbohidratos

Los carbohidratos representan en el caso de la fruta fresca el segundo componente más alto, cuyas concentraciones fluctúan de entre 7.70% en la fresa, hasta un 32% en el plátano, con la pérdida de humedad pasan a ser el principal componente en los deshidratados oscilando sus valores de un 71.40% como valor mínimo para la fresa y un valor máximo de 83.54% para la manzana, los extruidos muestran en forma general un ligero aumento de concentración, interpretando que se debe a que durante la extrusión, la molienda se favorecen las reacciones de hidrólisis, por aumento de temperatura .

Extracto etéreo

El procesamiento de las muestra no reflejan, cambios relevantes en el deshidratado y extruido del extracto etéreo y la parte mineral.

Los resultados obtenidos en su conjunto, muestran una congruencia en el comportamiento de las frutas, acorde a los valores de las tablas 5 y 6, en la cual los cambios entre deshidratado y extruido, no manifiestan cambios sustanciales en sus valores nutricionales, debido a la molienda y extruido de la fruta.



Figura 46. Determinación de extracto etéreo.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Los cambios generados, en un rango de temperatura pequeño entre la alimentación al extrusor y la salida del producto, el tiempo de residencia estimado es de alrededor 10 segundos, los cambios de presión en el equipo son bajos, por lo tanto no propician la cocción de la fruta. La consistencia del extruido se atribuye principalmente al calentamiento e interacción de los azúcares con la fibra digerible, representada por las pectinas, gomas y mucilagos, la interacción con fibra no asimilable, que genera áreas superficiales de contacto y porosidad, de tal manera que no permite exceso plástico del producto.

3. Textura

Esta prueba nos aporta datos útiles en lo referente a la calidad de textura de la muestra en lo concerniente a la dureza, deformación, adhesividad y fracturabilidad de la muestra.

Los diferentes comportamientos que se observan son consecuencia en parte del tipo de fruta, del contenido de fibra, de la humedad y la resistencia superficial que poseen.



Figura 47. Texturómetro

En el grafico se muestran los resultados de la prueba para el extruido de fresa, determinándose de acuerdo a la frecuencia de muestreo, una carga máxima de 35.66N a un tiempo de 20 segundos, observándose un pico intermedio a una carga 18N a los 30 segundos, representando el límite de consistencia del extruido, cercano al 50% de la carga máxima, ya posterior a él, pierde la consistencia y la carga es muy cercana a cero.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

La deformación del extruido de 1.97, representa un 3.90%, que con respecto a la longitud de la muestra es bajo, similarmente en el caso la adhesividad esta se considera baja.

Tabla 9. Resultados de compresión de fresa extruida	
Ciclo 1 Dureza	35.66 N
Deformación según Dureza	1.97 mm
% Deformación según Dureza	3.90%
Adhesividad	0.10 Mj
Fracturabilidad	35.66 N Con 1% de sensibilidad de carga

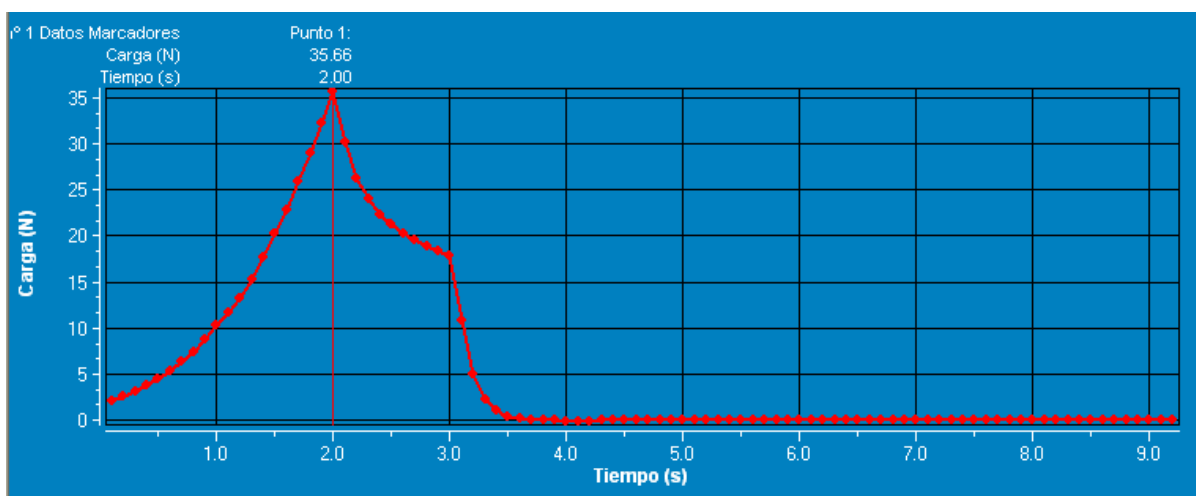


Gráfico 5. Compresión de la fresa extruida.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

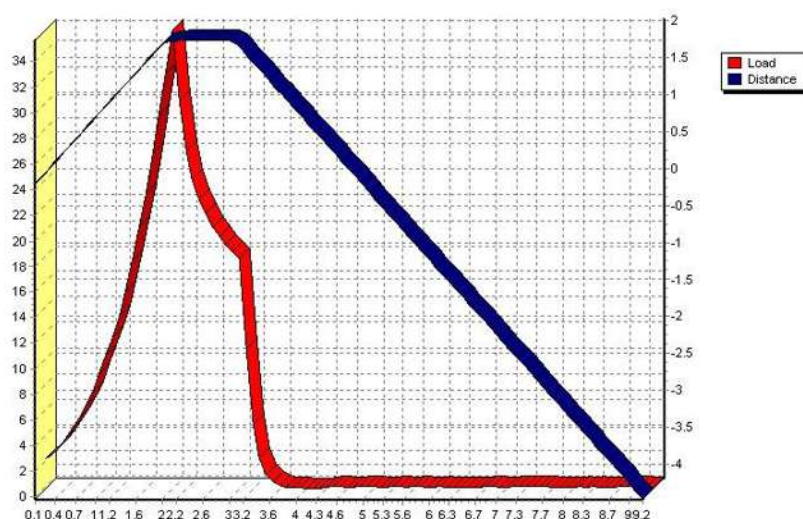


Gráfico 6. Compresión de la fresa extruida.

En la tabla se resumen los resultados de la prueba de textura para los extruidos para la fresa, manzana, piña, plátano y mango.

Parámetro	Fresa	Manzana	Piña	Plátano	Mango
Ciclo 1 Dureza	35.55N	75.33N	38.74N	66.43N	57.68N
Deformación/Dureza	1.97mm	1.94mm	1.97mm	1.94mm	1.95mm
%Deformación/Dureza	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%
Adhesividad	0.10mJ	0.10mJ	1.20mJ	0.40mJ	0.00
Fracturabilidad (1% sensibilidad de carga)	35.55N	75.33N	38.78N	66.43	57.68N

Parámetro	Manzana	Plátano	Mango	Piña	Fresa
Ciclo 1 Dureza	75.3366 ^A	66.4366 ^B	57.6766 ^C	38.7433 ^D	35.5533 ^E
Deformación/Dureza	1.9400 ^C	1.9400 ^C	1.9500 ^B	1.9700 ^A	1.9700 ^A
%Deformación/Dureza	3.9000	3.9000	3.9000	3.9000	3.9000
Adhesividad	0.1000 ^C	0.4000 ^B	0.1000 ^C	1.1000 ^A	0.1000 ^C
Fracturabilidad (1% sensibilidad de carga)	75.3366 ^A	66.4366 ^B	57.6766 ^C	38.7433 ^D	35.5500 ^E

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Como se puede observar los valores de carga máxima y por lo tanto de fracturabilidad fluctúan entre 35.55N para fresa y 38.74N para la piña, que se consideran de consistencia suave y 75.33N para la manzana de consistencia de más del doble con respecto a la fresa y el plátano de 66.43N considerados como de mayor dureza. Lo anterior se presupone que es debido a que el extruido de manzana se realizó, de la fruta total, sin descorazonarla, con cáscara y una humedad 4.80%, por debajo del 10-20% determinado en la gráfica 3, ya que durante el extruido se observó su endurecimiento y su falta de manejo. Similarmente el plátano presento una consistencia dura, atribuyéndose a la gran cantidad de carbohidratos, principalmente como almidones y azúcares.

La parte central de estos resultados corresponde al mango con un valor de 57.78N, obteniéndose un producto de consistencia intermedia, sin adhesividad, baja deformación y características parecidas a la fresa y a la piña, su mayor dureza es debida al tipo de fibra insoluble.

La deformación por dureza es muy similar en las muestras y representa la deformación del extruido entre la longitud total del extruido, el porcentaje de deformación de 3.90% realmente es bajo.

En función a la adhesividad que representa la cohesión de gomas, mucilagos, fibra soluble, se observan valores similares de 0.1mJ (mili Joule) para la fresa y la manzana, 1.20mJ para la piña que representa la mayor adhesividad, en el caso del plátano con un valor de 0.4mJ mayor a la fresa y la manzana se considera debido a los altos contenidos de azúcares, finalmente se observa que el mango no manifiesta adhesividad, interpretándose que es debido a mayor influencia de la fibra no soluble. La influencia del contenido de humedad durante el extruido es muy relevante e influye en forma directa en estos valores.

Los valores normales de masticación, fluctúan entre 186N (18.99Kg_f) para el caso de niños, 677N (68.13Kg_f) en mujeres y 727N (74.15Kg_f) en hombres, por lo cual se infiere que los extruidos se consideran suaves y representan condiciones favorables para su consumo.

**4. Determinación de ácido ascórbico mediante el Método de Tillmans y
% de Acidez Titulable (% de Ácido Cítrico)**

a) Determinación de ácido ascórbico mediante el Método de Tillmans

Tabla 12. Ácido Ascórbico					
Fruta	Fresa	Manzana	Piña	Mango	Plátano
Deshidratada	54 mg/100g	21 mg/100g	16 mg/100g	24 mg/100g	21 mg/100g
Extruida	49 mg/100g	25 mg/100g	13 mg/100g	26 mg/100g	25 mg/100g

b) % de acidez titulable

El aporte de vitaminas que tiene la fruta, se manifiesta en la acidez, característico de los aminoácidos esenciales, con pK_a de 1.83 a 2.36, de lo cual se infiere principalmente la presencia de la vitamina C, como un amortiguador de las reacciones ácido-base, reacciones de oxidación y la inhibición del ataque microbiano y pardeamiento enzimático.

El sabor agrisado, astringencia y tiempo de anaquel mayor a 3 meses, con cierta humedad del producto, reafirma la presencia antioxidante de los taninos y el carácter fenólico de los extruidos, así mismo la estabilidad en el color de la fruta deshidratada y extruida, y por tanto de la clorofila, carotenos y xantofilas, tiene relación directa con este sistema de equilibrio antioxidante.



Figura 48. Determinación de la acidez en las frutas.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Los ácidos orgánicos presentes en las frutas influyen en el sabor, color y la estabilidad de las mismas. Los valores de acidez pueden ser muy variables dependiendo del tipo de fruta.

Tabla 13. Porcentaje de Acidez Titulable, Como Ácido Cítrico.

Fruta	Fresa	Manzana	Piña	Mango	Plátano
Natural	1.36	0.58	0.55	1.20	0.50
Deshidratada	1.09	0.91	0.54	1.33	0.88
Extruida	1.06	1.03	0.49	1.35	0.92

La acidez libre o acidez titulable representa a los ácidos orgánicos, que se encuentran libres, en el caso de las frutas se expresa como ácido cítrico que es el ácido orgánico que se encuentra en mayor cantidad, aunque pueden estar involucrados otros compuestos en el resultado.

En la tabla 6, se puede observar que el porcentaje de acidez titulable de la fresa y la piña se ve ligeramente disminuido después de la deshidratación ya que algunos ácidos orgánicos son desestabilizados con el aumento de la temperatura, sin embargo la temperatura a la que se sometió no es alta por lo tanto es mínima, la disminución de la acidez y después de la extrusión se puede observar que no hubo cambios significativos, debido a que la temperatura que alcanza el extrusor no es alta.

Mientras que en la manzana, el mango y el plátano se observa un comportamiento diferente ya que después de la deshidratación la acidez es un poco más alta a la de la fruta natural, este ligero aumento se debe a que estas frutas fueron tratadas con una solución de ácido cítrico después del corte y después de la extrusión se vuelve a observar un mínimo aumento en el porcentaje de acidez, ya que al ser cortada se estabiliza con el exceso de ácido cítrico que se encuentra en la superficie.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

5. Determinación de Polifenoles por el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu

Los polifenoles son potentes antioxidantes por su estructura química (donador de H⁺ o electrones) necesarios para el funcionamiento de las células vegetales; que se encuentran en frutas y verduras.

Tabla 14. Antioxidantes (Polifenoles Totales)					
Fruta	<i>Piña</i>	<i>Fresa</i>	<i>Mango</i>	<i>Plátano</i>	<i>Manzana</i>
Deshidratada	1.15mg/100g	9.02mg/100g	1.97mg/100g	2.8mg/100g	10.1mg/100g
Extruida	0.09mg/100g	8.73mg/100g	1.52mg/100g	1.9mg/100g	9.48mg/100g

Como se puede observar en la tabla la concentración de polifenoles se ve afectada ligeramente en la fruta extruida respecto a la deshidratada, esto se debe al procesamiento ya que los polifenoles son muy fotosensibles y se descomponen fácilmente aunque el extrusor no alcanza altas temperaturas, sin embargo se debe al tipo de proceso. Por otro lado se observa que la manzana tiene mayor concentración de polifenoles esto se debe a que es tratada con ácido cítrico, seguida de la fresa ya que esta por naturaleza es rica en antioxidantes, en el caso del plátano y mango se muestra que tienen un contenido mayor al normal debido a que también son tratados con solución de ácido cítrico y por último la piña tiene una menor concentración ya que esta no es impregnada de ácido cítrico y por naturaleza esta fruta no es rica en antioxidantes.

6. Análisis comparativo y perspectivas de comercialización

Para determinar su factibilidad en el mercado, se realizó una comparación nutrimental del extruido de fruta, con los productos comerciales considerados como productos chatarra; como lo son los churros de harina, cheetos, fritos, papas, doritos y productos afines.

Los costos de producción estimados de 1 kilogramo de extruido de fruta son: fresa \$214.00, piña \$171, manzana \$150, mango \$150, plátano \$50. Considerando

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

precios de venta de la fruta fresca en el mercado de abastos/caja, esta puede abarataarse hasta un 50% a precios de huerta y temporada de alta oferta. Comercialmente los extruidos de fruta, son factibles de aceptación en el mercado y el incentivo económico.

Tabla 15. Información nutrimental y costo/kilogramo de extruidos comerciales

<i>Parámetro</i>	<i>Ruffles</i> 50g/\$9	<i>Cheetos</i> 44g/\$6	<i>Crujitos</i> 43g/\$8	<i>Churumai</i> s 58g/\$ 6	<i>Fritos</i> 60g/\$8	<i>Doritos</i> 58g/\$8	<i>Papas</i> 45g/\$ 9	<i>Chicharrón</i> 30g/\$9	<i>Piña extruida</i> 100g/\$17.1
\$/kilo	180	136	186	103	133	138	200	300	171
Contenido energético	992.8 Kcal/100g	1233.8 Kcal/100g	1075.5 Kcal/100g	1027.2 Kcal/100g	926.3 Kcal/100g	774.6 Kcal/100g	1135.1 Kcal/100g	1852.6 Kcal/100g	328.85 Kcal/100g
carbohidratos	50%	54.5%	56.6%	60.0%	50.0%	53.3%	50%	0.0%	79.47%
Fibra cruda	3.3%	4.5%	6.6%	3.3%	6.6%	6.6%	3.3%	0.0%	6.6%
Proteína	6.6%	4.5%	6.6%	6.6%	6.6%	6.6%	6.6%	56.6%	2.0%
Extracto etéreo	30%	34.1%	23.3%	26.6%	36.6%	23.3%	31.6%	36.6%	0.33%
Cenizas	1.0%	0.61%	0.83%	0.86%	0.50%	0.56%	0.46%	1.73%	2.40%

De lo cual se puede inferir que ambos productos tienen un alto contenido de carbohidratos, lo que representa un alto valor energético.

Valores similares se observan en el caso de fibra, proteína y cenizas, salvo que las cenizas en los productos comerciales representan el contenido de sal como NaCl. La gran diferencia estriba en la alta concentración de extracto etéreo, que representa las grasas y aceites, de estos productos y que son sometidos a cocción y freído.

La gran ventaja de los extruidos de fruta con respecto a estos productos comerciales estriba en las condiciones de procesamiento natural, conservando sus propiedades vitamínicas, de características netamente antioxidantes, los bajos contenidos en grasas y aceites, son aceites esenciales naturales, que no son sometidos a tratamientos térmicos de refinación.

7. Extruidos enriquecidos con miel de agave, chili-limón y coco.

Los extruidos en forma natural, sin insumos, presentan sabores fuertes y una marcada astringencia, motivo por el cual, la adición de estos insumos enriquecen

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

el extruido, favorecen su degustación, comercialmente son más atractivos a la vista y comercialmente son versátiles en formas y sabores.

Los extruidos de fresa con miel de agave, representan un producto de excelentes propiedades que mejora la consistencia y plasticidad del extruido, con alto contenido de fructuosa y lo más importante es su contenido de inulina, benéfico para diabéticos.

Los extruidos de piña-coco.



Figura 49. Extruido de piña-coco.

Los extruidos de piña, mango y manzana enchilados.



Figura 50. Extruidos de piña, mango y manzana enchilados.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Extruidos de plátano y manzana con canela.



Figura 51. Extruidos de plátano y manzana con canela.

Extruidos de fresa con miel de agave.



Figura 52. Extruidos de fresa con miel de agave.

VII. CONCLUSIONES

En función de los resultados y su interpretación, se generaron las siguientes conclusiones.

Se comprueba que el planteamiento de la hipótesis, fue el correcto, debido a que el ácido cítrico determina que:

1. La producción de extruidos de fruta natural, conservan sus propiedades nutricionales, ante el procesamiento de deshidratación, molienda y extrusión.

La capacidad antioxidante, se manifiesta en los tiempos de anaquel, pH, astringencia y estabilidad de formas y colores.

El aporte nutricional en general, es superior a las frituras comerciales, debido a que su procesamiento e insumos se apegan a las condiciones más naturales.

2. La posición geográfica de nuestro estado de Michoacán, rico en la producción de frutas, permite la innovación y el desarrollo de una amplia variedad de estos productos.

3. La estabilidad de estos productos, comercialmente es interesante, porque en muchos estados principalmente los del norte, la demanda de productos de frutas es considerable.

4. La factibilidad económica para su producción y comercialización es buena industrialmente, siempre y cuando se aprovechen los precios de huerta y la temporada alta de producción de fruta.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Abeles, F.B., Morgan, P.W., Saltveit, M. 1992. Ethylene in Plant Biology. San Diego California: Academic Press. 2ª edición. Pp. 414. ISBN 0-12-041451-1.

Acosta, M.H. 1984. “Descripción del equipo”, Reunión Panamericana de Extrusión de Alimentos, Chihuahua, México.

Badui Dergal, S. 2006. Lípidos. En Química de los alimentos, cap. 13, pp. 779-845. 4ª edición. Editado por S. Badui Dergal. Pearson Educación, México.

Badui Dergal, S. 2006. Vitaminas y nutrientes inorgánicos. En Química de los alimentos, cap 6, pp. 363-400. 4ta edición. Editado por S. Badui Dergal. Pearson Educación, México.

Belitz, H.D.; Grosch, W. 1997. Cereales y productos derivados. En Química de los alimentos, 2da edición, cap. 15, pp. 537-584. Editorial Acribia, Zaragoza.

BeMiller, J.N.; Huber, K.C. 2010. Carbohidratos. En Química de los alimentos, cap. 3., 3ra. Edición, pp. 83-153. Editado por S. Damodaran, K.L. Parkin y O.R. Fennema, Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Brauna, R.O. 2002. Técnicas de procesamiento de granos que mejoran la eficiencia alimentaria en la producción animal. Facultad de Agronomía-UNLPan.

Brecht, J.K.; Ritenour, M.A.; Haard, N.F.; Chism, G.W. 2010. Fisiología post-cosecha de los productos vegetales. En Química de los alimentos, cap. 17, 3ra. Edición, pp. 973-1049. Editado por S. Damodaran, K.L. Parkin y O.R. Fennema, Editorial Acribia, Zaragoza.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Brouns, F.; Bjorck, I.; Frayn, K.N.; Gibbs, A.L.; Lang, V.; Slama, G.; Wolever, T.M.S. 2005. Glycaemic index methodology, *Nutrition Research Reviews*, 18, 145–171.

Cheftel, J.C.; Cuq, J.L.; Lorient, D. 1989. Desnaturalización de las proteínas. En *Proteínas alimentarias*, cap. 3, pp. 37-47. Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Cheftel, J.C.; Cuq, J.L.; Lorient, D. 1989. Los principales sistemas proteicos alimenticios. En *Proteínas alimentarias*, cap. 6, pp. 141-275. Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Código Alimentario Argentino 2012. Alimentos de régimen o dietéticos. Cap. 17, Artículo 1363. ANMAT.

Dimitri, M. 1987. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Editorial ACME, Buenos Aires.

E. 1994. *Tratado de Botánica*. 8ª edición. Omega, Barcelona, 1088p. ISBN 84-7102-990-1.

Enríquez, G.M.A. 1984. “Introducción a la Extrusión de Alimentos”. Reunión Panamericana de Extrusión de Alimentos, Chihuahua, México.

Esau, K. 1965. *Plant Anatomy*. 2ª edición. Nueva York, John Wiley y Sons.

Esau, K. 1998. *Anatomía de las plantas con semilla*. Ed. Hemisferio Sur. ISBN 950-004-233-9.

Frankel, E.N. 1998. Introduction. En *Lipid oxidation*, pp. 1-12. The oily Press, Dundee, Escocia.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Frankel, E.N. 1998. Photooxidation of unsaturated fats. En Lipid oxidation, cap. 3, pp. 43-54. Theoil Press, Dundee, Escocia.

García Brejio, F.J. 1995. Frutos Complejos. Botánica. Universidad Politécnica de Valencia.

García Brejio, F.J. 1998. Frutos: dispersión. Botánica. Universidad Politécnica de Valencia.

González, A.M., 2009. “Fruto Características Generales: Morfología de Plantas Vasculares”. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.

Guerrero Legarreta, I.; López Hernández, E.; Armenta López, R.E. 2006. Pigmentos. En Química de los alimentos, cap 7, pp. 401-444. 4ta edición. Editado por S. Badui Dergal. Pearson Educación, México.

Gray, J. 2003. Carbohydrates: nutritional and health aspects, pp. 3-30. ILSI Europe Concise Monograph Series. International Life Science Institute, Bruselas.

Gregory III, J.F. 2010. Vitaminas. En Química de los alimentos, cap. 7, 3ra. Edición, pp. 437-520. Editado por S. Damodaran, K.L. Parkin y O.R. Fennema, Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Harper, M.J. 1981. Extrusion of Foods, Volume I, CRC, Press Inc. Boca Raton Florida, USA.

Hauck, W.B. and Huber, R.G.1989.”Single Screw vs Twin Screw Extrusion”, Cereal Foods World, 34(11):930-939.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Heck, C.I.; Schmalko, M.; González de Mejía, E. 2008. Effect of growing and drying conditions on the phenolic composition of mate teas (*Ilex paraguariensis*). J. Agric Food Chem. 56:8394-8403.

Ho, C.-T.; Rafi, M.M.; Ghai, G. 2010. Sustancias bioactivas: Nutracéuticas y Tóxicas. En Química de los alimentos, cap. 12, 3ra. Edición, pp. 747-775. Editado por S. Damodaran, K.L. Parkin y O.R. Fennema, Editorial Acirbia, Zaragoza.

Jacobs, H. y Delcour, J.A. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46: 2895-2905.

J.L Cuq. 1996. Technologie des protéines – Institut des Sciences de l’Ingenieur de Montpellier, Département Sciences et Technologies des Industries Alimentaires, Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, Francia, pp. 170-198.

Knee, Michael. 2002. Ethylene synthesis, mode of action, consequences and control: Fruit Quality and its Biological Basis. Sheffield Academic Press. Pp. 180-224. ISBN 1-84127-230-2.

Lehninger, A.L. 1978. Vitaminas y coenzimas. En Bioquímica, 2da edición, cap.13, Pp. 341-367. Ediciones Omega, Barcelona.

López, L.B.; Suárez, M.M. 2005. Carbohidratos. En Fundamentos de nutrición normal, cap. 5, pp. 71-94. Editorial El Ateneo, Buenos Aires.

López, L.B.; Suárez, M.M. 2005. Definición de conceptos relacionados con la nutrición. En Fundamentos de nutrición normal, cap. 2, págs. 12-23. Editorial El Ateneo, Buenos Aires.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

López, L.B.; Suárez, M.M. 2005. Lípidos. En Fundamentos de nutrición normal, cap. 7, pp. 124-146. Editorial El Ateneo, Buenos Aires.

López, L.B.; Suárez, M.M. 2005. Vitaminas hidrosolubles. En Fundamentos de nutrición normal, cap. 9, pp. 186-241. Editorial El Ateneo, Buenos Aires.

López, L.B.; Suárez, M.M. 2005. Vitaminas liposolubles. En Fundamentos de nutrición normal, cap. 8, pp. 147-185. Editorial El Ateneo, Buenos Aires.

Martínez, F.H.E. 1993. Elaboración de un alimento extruido, expandido, tipo cereal para desayuno, con base en maíz y pastas de soya y cártamo. Pp. 22-29.

Matsubara, S.; Rodriguez-Amaya, D.B. 2006. Catechin and theaflavin levels of teas commercialized in Brazil, Food Science and Technology (Campinas) 26: 401-407.

McClements, D.J.; Decker, D.A. 2010. Lípidos. En Química de los alimentos, cap. 4., 3°. Edición. Editado por S. Damodaran, K.L. Parkin y O.R. Fennema, Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Miller, C.R. 1994. Tecnología de Extrusión de Alimentos. Extrusión Manual. pp. 1-67.

Miller, D.D. 2010. Minerales. En Química de los alimentos, cap. 8, 3ra. Edición, pp. 521-569. Editado por S. Damodaran, K.L. Parkin y O.R. Fennema, Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Mustakas, G.C., Giffin, E.L., Allen, L.E. y Smith, O.B. 1994. J. Amer. Oil Chemists 41, nº9, 607-614.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Nawar, W.W. 1993. Lípidos. En Química de los alimentos, cap.4, 2° Edición. Editado por O.R. Fennema, Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Newell-McGloughlin, M. 2010. Impacto de la biotecnología en la calidad y en el suministro de alimentos. En Química de los alimentos, cap. 18, 3ra. Edición, pp. 1051-1103. Editado por S. Damodaran, K.L. Parkin y O.R. Fennema, Editorial Acribia, Zaragoza.

Parkin, K.L. 2010. Enzimas. En Química de los alimentos, cap. 6, 3ra. Edición, pp. 327-433. Editado por S. Damodaran, K.L. Parkin y O.R. Fennema, Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Perla, V.; Holm, D.G.; Jayanty, S.S. 2012. Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers. LWT – Food Science and Technology 45: 161-171.

Schwartz, S.J.; von Elbe, J.H.; Giusti, M.M. 2010. Colorantes. En Química de los alimentos, cap. 9, 3ra. Edición, pp. 571-636. Editado por S. Damodaran, K.L. Parkin y O.R. Fennema, Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Simmonds, N.W. 2009. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Editorial Blome. Barcelona-17.

Simposium Mango, 26-27-Abril-2000. Biotecnología para el mejoramiento genético. Fundación Produce Michoacán INIFAP.

Whistler, R.L.; Daniel, J.R. 1993. Carbohidratos. En Química de los alimentos, cap.3, 2da Edición. Pp. 81-156. Editado por O.R. Fennema, Editorial Acribia, Zaragoza, España.

“Propiedades Fisicoquímicas y Valor Nutricional de Extruidos de Fruta Deshidratada”

Zavareze, E.S. y Guerra Días, A.R. 2011. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. Carbohydrate Polymers 83: 317-328.