

La Química en los alimentos

María Verónica González Cabrera
Tatiana Elizabeth Sánchez Herrera
Adriana Isabel Rodríguez Basantes



LA QUÍMICA EN LOS ALIMENTOS

María Verónica González Cabrera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

Tatiana Elizabeth Sánchez Herrera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

Adriana Isabel Rodríguez Basantes

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)



© María Verónica González Cabrera
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

Tatiana Elizabeth Sánchez Herrera
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

Adriana Isabel Rodríguez Basantes
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

© Editorial Grupo Compás, 2025
Guayaquí, Ecuador
www.grupocompas.com
<http://repositorio.grupocompas.com>

Primera edición, 2025

ISBN: 978-9942-33-903-4

Distribución online

 Acceso abierto

González, M., Sánchez, T., Rodríguez, A. (2025) La química en los alimentos. Editorial Grupo Compás

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad de la publicación. El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

ÍNDICE GENERAL

PROLOGO	1
INTRODUCCIÓN.....	4
Capítulo I. Los alimentos	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Definición de los alimentos	10
1.3 Principales constituyentes	16
Agua:.....	17
Carbohidratos:.....	18
Grasas:.....	20
Proteínas:	21
Otros componentes importantes: Vitaminas y minerales:.....	23
1.4 La pirámide alimenticia	26
Capítulo 2. Actividad de agua	30
2.1 Introducción.....	30
2.2 Estructura y Propiedades del agua	32
2.3 El agua en los alimentos.....	36
2.4 Actividad del agua en los alimentos. Definición.	39
2.5 Influencia de la actividad del agua en el deterioro de los alimentos	43
2.6 Actividad de agua y almacenamiento de los alimentos	46
Capítulo 3. Aminoácidos, Proteínas, Carbohidratos y Lípidos.....	52
3.1 Introducción.....	52
3.2 Aminoácidos	55
3.2.1 Definición.....	55
3.2.2 Estructura.	57
3.2.3 Clasificación.....	58
3.2.4 Propiedades físicas y químicas.....	59
3.3 Proteínas.....	62
3.3.1 Definición.....	62
3.3.2 Estructura	63
3.3.4 Clasificación.....	66
3.3.5 Propiedades físicas y químicas.....	67
3.4 Carbohidratos.....	69

3.4.1 Definición.....	69
3.4.2 Tipos.....	70
3.4.3 Propiedades físicas y químicas.....	75
3.5 Lípidos	76
3.5.1 Definición.....	76
3.5.2 Estructura.....	77
3.5.3 Clasificación.....	78
3.6 Aceite y las grasas	80
3.6.1 Definición.....	80
3.7 Ácidos grasos.....	81
3.7.1 Definición.....	81
3.7.2 Composición.....	81
3.8 Triglicéridos	83
3.8.1 Definición.....	83
3.8.2 Composición.....	83
3.8.3 Propiedades físicas y químicas.....	84
3.8.4 Principales reacciones químicas que ocurren en los lípidos.....	84
CAPITULO 4. ENZIMAS	91
4.1 Introducción.....	91
4.2 Enzimas.....	94
4.2.1 Clasificación.....	96
4.3 Actividad enzimática	104
4.4 Especificidad enzimática.....	108
4.5 Enzimas presentes en los alimentos.....	110
4.6 Pardeamiento enzimático	115
CAPITULO 5. PIGMENTOS.....	122
5.1 Introducción.....	122
5.2 Pigmentos	124
5.2.1 Definición de pigmentos.....	124
5.2.2 Propósito de la adición de pigmentos.....	126
5.2.3 Características de los pigmentos	126
5.2.4 Factores que alteran la estabilidad de los pigmentos.....	127
5.2.5 Estructura química de los pigmentos.....	127
5.2.6 Función de los pigmentos.....	129
5.2.7 Clasificación de los pigmentos.....	129

5.3	Pigmentos naturales	130
5.3.1	Definición	131
5.3.2	Tipos de pigmentos naturales.	131
5.3.4	Pigmentos Naturales más utilizados en la industria alimentaria	134
5.3.5	Ventajas y Desventajas de los Pigmentos Naturales:.....	136
5.3.6	Cambios estructurales de los Pigmentos Naturales.	136
5.4	Pigmentos sintéticos.....	137
5.4.1	Definición.....	138
5.4.2	Tipos de Pigmentos Sintéticos.....	139
5.4.3	Ventajas y Desventajas de los Pigmentos Sintéticos.....	140
CAPITULO 6. CAMBIOS QUE OCURREN EN LOS ALIMENTOS.....		145
6.1	Introducción	145
6.2	Cambios físicos	147
6.2.1	Hidratos de carbono.....	147
6.3	Cambios químicos	151
6.3.2	Proteínas	154
6.3.3	Lípidos	155
6.4	Cambios biológicos.....	156
6.4.1	Hidratos de carbono.....	156
6.4.2	Proteínas	157
6.4.3	Lípidos	158
6.5	Cambios organolépticos	158
6.5.1	Hidratos de carbono.....	158
6.5.2	Proteínas	159
6.5.3	Lípidos	159
6.6	Deterioro en los alimentos. Causas y efectos.....	160
6.7	Influencia de la temperatura, Aw, tiempo y O ₂	162
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grupo de alimentos de origen vegetal.....	12
Figura 2. Grupo de alimentos de origen animal.....	13
Figura 3. Tipos de alimentos según su función.	14
Figura 4. Clasificación de los alimentos según el grado de procesamiento.....	15
Figura 5. Grupo de alimentos.....	16
Figura 6. Estructura de los carbohidratos.....	19
Figura 7. Estructura de los lípidos.....	20
Figura 8. Estructura de una proteína.....	22
Figura 9. Estructura del agua.	34
Figura 10. Isotherma de sorción típica de un producto.....	42
Figura 11. Estructura de un aminoácido.....	55
Figura 12. Estructura de un aminoácido.....	58
Figura 13. Estructura de una proteína.....	63
Figura 14. Estructuras de una proteína.....	72
Figura 15. Estructura de un oligosacárido.....	73
Figura 16. Estructura del glucógeno.....	74
Figura 17. Estructura de los lípidos.....	78
Figura 18. Estructura de una enzima.....	94
Figura 19. Enzimas oxidorreductasas.....	97
Figura 20. Enzimas transferasas.....	99
Figura 21. Enzimas hidrolasas.....	101
Figura 22. Enzimas Liasas.....	102
Figura 23. Enzimas Isomerasas.....	103
Figura 24. Enzimas Ligasas.....	104
Figura 25. Especificidad de las enzimas.....	108
Figura 26. Pardeamiento enzimático de la manzana.....	116
Figura 27. Estructura de un pigmento.....	128
Figura 28. Pigmentos de origen vegetal.....	132
Figura 29. Pigmentos de origen animal.....	133
Figura 30. Desnaturalización de las proteínas.....	150
Figura 31. Reacciones de la caramelización.....	153

Figura 32. Hidrólisis enzimática de la celulosa..... 157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias entre agua libre y agua ligada. 38

Tabla 2. Actividad de agua de algunos alimentos. 40

Tabla 3. Actividad del agua y deterioro microbiano de los alimentos 47

Tabla 4. Factores físicos que causan deterioro de los alimentos. 161

PROLOGO

La alimentación es uno de los pilares fundamentales para la vida humana, y la química de los alimentos es una ciencia que nos permite entender y mejorar la calidad de los alimentos que consumimos. La Química en los Alimentos es un libro diseñado para proporcionar una comprensión profunda de los principios químicos que subyacen en los alimentos y sus procesos. Este libro es una herramienta esencial para estudiantes, profesionales de la industria alimentaria y cualquier persona interesada en cómo los componentes químicos influyen en la calidad, conservación y valor nutricional de los alimentos.

El primer capítulo, "Los Alimentos", establece las bases para el estudio de la química alimentaria. Aquí se introduce el tema y se define qué son los alimentos, explorando sus principales constituyentes como los carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales. Además, se discute la pirámide alimenticia, una herramienta esencial para entender cómo equilibrar una dieta saludable. Este capítulo es fundamental para cualquier lector que busque comprender los aspectos básicos de la composición de los alimentos y su importancia nutricional.

En el segundo capítulo, "Actividad de Agua", se explora el papel crucial del agua en los alimentos. La introducción de este capítulo destaca la importancia del agua en la química de los alimentos. Se abordan las propiedades del agua y su influencia en la calidad y la conservación de los alimentos. Además, se define la actividad de agua y se analiza su impacto en el deterioro y almacenamiento de los alimentos. Este capítulo es esencial para entender cómo controlar la actividad de agua puede prolongar la vida útil de los productos alimenticios.

El tercer capítulo, "Aminoácidos, Proteínas, Carbohidratos y Lípidos", ofrece una visión detallada de los macronutrientes esenciales. Se comienza con una introducción al tema, seguido de una exploración exhaustiva de los aminoácidos, proteínas, carbohidratos y lípidos. Se discuten sus definiciones, estructuras,

clasificaciones y propiedades físicas y químicas. Además, se examinan las principales reacciones químicas que ocurren en los lípidos. Este capítulo proporciona una comprensión integral de estos componentes vitales de nuestra dieta.

El cuarto capítulo, "Enzimas", aborda el papel de las enzimas en los alimentos. Después de una introducción al tema, se ofrece una definición y clasificación de las enzimas. Se exploran la especificidad y actividad enzimática, así como las enzimas presentes en los alimentos y el fenómeno del pardeamiento enzimático. Este capítulo es crucial para entender cómo las enzimas influyen en la calidad y las propiedades de los alimentos.

El quinto capítulo, "Pigmentos", se centra en los compuestos responsables del color de los alimentos. La introducción subraya la importancia de los pigmentos naturales y sintéticos. Se definen y clasifican los pigmentos, detallando sus estructuras y funciones. Además, se discuten los cambios estructurales de los pigmentos naturales y los tipos de pigmentos sintéticos utilizados en la industria alimentaria. Este capítulo es esencial para comprender cómo los pigmentos afectan la apariencia y la percepción de los alimentos.

Finalmente, el sexto capítulo, "Cambios que Ocurren en los Alimentos", analiza los diversos cambios que pueden sufrir los alimentos durante el procesamiento y almacenamiento. La introducción establece el contexto para discutir los cambios físicos, químicos, biológicos y organolépticos que pueden ocurrir. Además, se examinan las causas y efectos del deterioro de los alimentos, y cómo factores como la temperatura, la actividad de agua, el tiempo y el oxígeno influyen en este proceso. Este capítulo es fundamental para entender cómo mantener y mejorar la calidad y seguridad de los alimentos.

La Química en los Alimentos es una obra integral que combina teoría y práctica para proporcionar una comprensión profunda de la química alimentaria. Cada capítulo está diseñado para enriquecer el conocimiento de los lectores sobre

cómo los componentes químicos afectan la calidad, conservación y valor nutricional de los alimentos. Este libro es una guía indispensable para cualquiera que desee explorar la intersección entre la química y la alimentación, y cómo esta relación impacta en nuestra vida cotidiana.

INTRODUCCIÓN

La Química en los Alimentos es una obra esencial para comprender cómo los diversos componentes químicos presentes en los alimentos influyen en su calidad, conservación y valor nutricional. La relación entre la química y la alimentación es fundamental para la ciencia de los alimentos, ya que permite desentrañar los procesos y reacciones que ocurren desde la producción hasta el consumo de los alimentos. Este libro está estructurado en seis capítulos, cada uno enfocado en un aspecto crítico de la química alimentaria, proporcionando una visión integral y detallada de cómo la ciencia química se aplica a los alimentos que consumimos diariamente.

Los alimentos son fundamentales para la vida, proporcionando los nutrientes y la energía necesarios para el funcionamiento del cuerpo humano. La química de los alimentos es una disciplina que se centra en el estudio de los componentes químicos presentes en los alimentos y cómo estos interactúan y afectan nuestra salud. Este campo de estudio es vital no solo para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos, sino también para desarrollar nuevos productos alimenticios que satisfagan las necesidades nutricionales de la población.

Los alimentos se definen como cualquier sustancia que se consume para proporcionar soporte nutricional al organismo. Estas sustancias contienen nutrientes esenciales que el cuerpo necesita para mantener sus funciones biológicas y promover el crecimiento y la reparación de los tejidos. Los alimentos pueden clasificarse en diferentes grupos basados en su composición y función, tales como carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales.

Los alimentos están compuestos por una variedad de constituyentes que se pueden clasificar en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes, que incluyen carbohidratos, proteínas y lípidos, son necesarios en grandes cantidades

y proporcionan la energía y los materiales de construcción para el cuerpo. Los micronutrientes, como las vitaminas y los minerales, son necesarios en menores cantidades, pero son igualmente importantes para mantener la salud y prevenir enfermedades.

Los carbohidratos son la principal fuente de energía y se encuentran en alimentos como el pan, el arroz, las frutas y las verduras. Los carbohidratos pueden ser simples, como el azúcar, o complejos, como el almidón. Las proteínas están compuestas de aminoácidos, son esenciales para el crecimiento, la reparación de tejidos y la producción de enzimas y hormonas. Se encuentran en alimentos como la carne, el pescado, los huevos y las legumbres. Los lípidos incluyen grasas y aceites, que son una fuente concentrada de energía y son importantes para la absorción de vitaminas liposolubles. Se encuentran en alimentos como los aceites vegetales, la mantequilla y los frutos secos.

La pirámide alimenticia es una representación gráfica que muestra cómo se deben distribuir los diferentes grupos de alimentos en una dieta equilibrada. En la base de la pirámide se encuentran los alimentos ricos en carbohidratos, que deben constituir la mayor parte de nuestra ingesta diaria. Los niveles intermedios incluyen frutas y verduras, que son importantes fuentes de vitaminas, minerales y fibra. Más arriba se encuentran los alimentos ricos en proteínas y productos lácteos, que deben consumirse en cantidades moderadas. En la cima de la pirámide se encuentran las grasas, los aceites y los azúcares, que deben consumirse con moderación debido a su alta densidad calórica y menor valor nutricional.

La pirámide alimenticia no solo ayuda a comprender la importancia de una dieta balanceada, sino que también proporciona una guía visual sobre cómo combinar diferentes tipos de alimentos para satisfacer nuestras necesidades nutricionales. Seguir las recomendaciones de la pirámide alimenticia puede ayudar a prevenir deficiencias nutricionales y a mantener un peso saludable, promoviendo en general una mejor calidad de vida.

La actividad de agua es un concepto crucial en el estudio de los alimentos, ya que influye directamente en su estabilidad, seguridad y calidad. La actividad de

agua (a_w) es un parámetro que mide la disponibilidad del agua en los alimentos para participar en reacciones químicas y biológicas. Esta tiene un impacto significativo en el deterioro de los alimentos por lo que el almacenamiento adecuado de los alimentos es crucial para mantener su calidad y seguridad.

Otro tema que se abordara en el presente libro es que, en el fascinante mundo de la bioquímica y la nutrición, los aminoácidos, proteínas, carbohidratos y lípidos desempeñan roles fundamentales que sostienen la vida y la salud. Los carbohidratos son moléculas vitales que actúan como fuente primaria de energía para los organismos vivos. Los lípidos son un grupo diverso de compuestos que incluyen grasas, aceites, fosfolípidos y esteroides. En esta sección se proporcionará una comprensión integral de estas biomoléculas, destacando su interrelación y su relevancia en la biología y la salud humana. Los conocimientos adquiridos aquí son fundamentales para cualquier estudio avanzado en bioquímica, nutrición y ciencias de la vida, ofreciendo una base sólida para explorar temas más complejos en estas áreas.

Por otro lado, las enzimas son proteínas especializadas que actúan como catalizadores en diversas reacciones bioquímicas. En el contexto de los alimentos, su papel es crucial, no solo en los procesos naturales que ocurren en los ingredientes frescos, sino también en una amplia gama de aplicaciones industriales que mejoran la producción, procesamiento y conservación de alimentos. Para comprender la importancia de las enzimas en los alimentos, es fundamental primero entender su estructura y función. Las enzimas son proteínas que aceleran las reacciones químicas sin consumirse en el proceso.

En los alimentos frescos, las enzimas son responsables de numerosos procesos que afectan la calidad y la estabilidad del producto. La industria alimentaria utiliza enzimas de manera extensiva para mejorar la eficiencia y la calidad de los productos. Las enzimas también juegan un papel vital en la conservación y seguridad de los alimentos. En el desarrollo de esta sección se ofrecerá una visión detallada y comprensiva del papel de las enzimas en los alimentos, desde su funcionamiento básico hasta sus aplicaciones prácticas en la industria alimentaria.

En otro contexto los pigmentos son compuestos que aportan color a los alimentos y desempeñan un papel fundamental en la percepción sensorial, la calidad nutricional y la aceptación del consumidor. La diversidad de colores en los alimentos se debe a la presencia de distintos pigmentos naturales. Los pigmentos no solo afectan la apariencia de los alimentos, sino que también influyen en su valor nutricional y en la aceptación por parte del consumidor. La industria alimentaria utiliza pigmentos naturales y sintéticos para mejorar la apariencia de los productos y satisfacer las expectativas de los consumidores. La estabilidad de los pigmentos durante el procesamiento y almacenamiento es un desafío importante en la industria alimentaria por lo que a lo largo de este libro se examinarán los factores que afectan la estabilidad de los pigmentos, como la temperatura, el pH, la luz y la presencia de oxígeno.

En este mismo orden de ideas los alimentos son dinámicos y están sujetos a una serie de cambios desde el momento de su cosecha o producción hasta su consumo. Estos cambios pueden ser físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos, y afectan directamente la calidad, seguridad y valor nutricional de los productos alimenticios. Los cambios físicos en los alimentos incluyen transformaciones en la textura, el color, la forma y el estado físico. Los cambios químicos y bioquímicos son reacciones que alteran la composición química de los alimentos. Los microorganismos juegan un papel crucial en la transformación de los alimentos, tanto en el deterioro como en la fermentación deseada. Para garantizar la calidad y seguridad de los alimentos, es fundamental controlar y minimizar los cambios indeseables.

En resumen, *La Química en los Alimentos* es una obra integral que proporciona una comprensión profunda de cómo los componentes químicos de los alimentos afectan su calidad, conservación y valor nutricional. A través de sus seis capítulos, este libro ofrece una visión detallada de la química alimentaria, combinando teoría y práctica para enriquecer el conocimiento de los lectores sobre este campo esencial de la ciencia de los alimentos.

CAPÍTULO I. LOS ALIMENTOS

1.1 Introducción

A lo largo de la historia, los humanos han desarrollado diversas estrategias para obtener alimento y poder adaptarse al entorno. En tiempos primitivos se utilizaba la caza y la recolección de los alimentos, pero con la evolución humana se han desarrollado nuevas técnicas como la horticultura, el pastoreo hasta llegar a la agricultura moderna para la obtención de alimentos que sirvan de sustento. Más allá de la función biológica que cumplen los alimentos, también existe un componente cultural que marca a las sociedades humanas, convirtiendo a los elementos en símbolos que identifican y aportan valor a las misma. Gracias a la globalización, en la actualidad se han explorado y expandido el intercambio de alimentos entre los diferentes continentes.

Desde el punto de vista de la química, los alimentos, son sustancias compuestas por moléculas orgánicas e inorgánicas que, al ser ingeridas y procesadas por el organismo, aportan la energía y los nutrientes necesarios para llevar a cabo una amplia gama de actividades y funciones básicas como el crecimiento, desarrollo y la reparación de tejidos, desencadenando una serie de reacciones bioquímicas.

Estos nutrientes se clasifican en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes, como los carbohidratos, las grasas y las proteínas, proporcionan energía al cuerpo, mientras que los micronutrientes, como las vitaminas y los minerales, son necesarios para diversas funciones metabólicas y la regulación de diversos procesos corporales. Los carbohidratos representan la principal fuente de energía para el cuerpo, están presentes en azúcares, almidones y fibras; las grasas proveen energía de reserva, pueden ser saturadas e insaturadas, también permite la absorción de vitaminas liposolubles y forman parte de las membranas celulares.

Las proteínas son esenciales para el crecimiento, desarrollo y reparación de tejidos, ya que forman parte de las enzimas, las hormonas y los anticuerpos; las vitaminas son compuestos orgánicos necesarios para diversas funciones metabólicas, pueden ser liposolubles e hidrosolubles; y, los minerales que son un grupo de elementos inorgánicos como el calcio, el hierro, el zinc y el magnesio, cuya presencia en el organismo es esencial para llevar a cabo muchos procesos como el desarrollo óseo, la función nerviosa y la contracción muscular.

En la composición química de los alimentos, encontramos una diversidad de moléculas que pueden ser nutrientes esenciales y nutrientes no esenciales. Los nutrientes esenciales, como los aminoácidos esenciales, las vitaminas y algunos minerales, no pueden ser producidos por nuestro cuerpo y deben obtenerse a través de la dieta. Mientras que los nutrientes no esenciales, como la glucosa y algunos lípidos, pueden ser sintetizados internamente o almacenarse en el cuerpo para su uso posterior.

La pirámide alimentaria es una herramienta gráfica muy útil que clasifica los alimentos en grupos según su valor nutricional y además recomienda las proporciones adecuadas para una dieta equilibrada y saludable. La base de la pirámide, compuesta por cereales y granos integrales, debe ocupar la mayor parte de la ingesta diaria, a medida que se asciende en la pirámide, encontramos frutas, verduras, legumbres, lácteos y carnes, en cantidades decrecientes, y finalmente en el vértice superior de la pirámide, se encuentran las grasas y los azúcares, los cuales deben consumirse con mucha moderación ya que son altos en calorías y pueden afectar negativamente la salud a largo plazo.

Más allá del sabor y el aroma de los alimentos, es muy importante conocer su composición desde el punto de vista químico y científico, ya que esto permite comprender completamente sus características físicas y químicas para más allá de su delicioso sabor y aromas cautivadores, representan un universo fascinante desde el punto de vista científico. La química de los alimentos es fundamental para comprender los cambios que experimentan los mismos durante su obtención,

procesamiento y almacenamiento, ya que permite comprender las interacciones entre los componentes de los alimentos y con el medio ambiente, esto a su vez permite desarrollar técnicas para mejorar y conservar la calidad y la seguridad de los productos.

De igual forma, permite desarrollar nuevas tecnologías alimentarias para optimizar la conservación de los alimentos y mejorar sus características físico-químicas y organolépticas, incluso también es importante para el diseño y desarrollo de nuevos productos con propiedades nutricionales específicas, enfrentando así los desafíos que se presentan en la actualidad dentro de un mundo globalizado en constante cambio, en donde la demanda de alimentos nutritivos y sostenibles es cada vez mayor.

En el presente capítulo se explorará la definición de los alimentos desde la perspectiva química, describiendo sus principales constituyentes y su importancia para el organismo. Además, se analizará la pirámide alimentaria como una guía fundamental para lograr una alimentación equilibrada y saludable.

1.2 Definición de los alimentos

Los alimentos constituyen sustancias esenciales para la vida, aportando a los seres vivos los nutrientes y la energía requeridos para el crecimiento, desarrollo, funcionamiento y mantenimiento de sus funciones vitales. En la categoría de alimentos se incluye una gama de sustancias que van desde las más simples como el agua o los minerales hasta las más complejas, como las proteínas, es por esto que el estudio de los alimentos está caracterizado por un enfoque multidisciplinario abarcando desde su composición química hasta su impacto en la salud y la cultura humana, por lo que involucra diversas áreas del conocimiento, como la química, la bioquímica, la nutrición, la fisiología, la agronomía y hasta la gastronomía.

En términos generales, un alimento se puede definir como cualquier sustancia sólida o líquida que, al ser ingerida por un ser vivo, le proporciona los nutrientes y la energía necesarios para su subsistencia. Estos nutrientes pueden ser clasificados en macronutrientes entre los que se encuentran los carbohidratos, las grasas y las proteínas, y en micronutrientes como las vitaminas y los minerales. Por su parte, la Real Academia Española define el término de “alimento” como un conjunto de sustancias que los seres vivos comen o beben para subsistir (Real Academia Española, 2014).

Por otra parte, un alimento es una sustancia que consiste esencialmente en proteínas, carbohidratos, grasas y otros nutrientes utilizados en el cuerpo de un organismo para sostener el crecimiento y los procesos vitales y para proporcionar energía (Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, 2024). La asimilación y el aprovechamiento de los alimentos por parte de los organismos vivos es fundamental para su nutrición, este proceso es facilitado por la digestión permite obtener los nutrientes necesarios para llevar a cabo las funciones vitales de crecimiento, desarrollo y funcionamiento adecuado del cuerpo. Las plantas, a través del proceso de fotosíntesis, convierten la energía solar en alimento constituyéndose como la principal fuente de sustento para la mayoría de los seres vivos. Por su parte, los animales herbívoros se alimentan de las plantas y los carnívoros obtienen su alimento consumiendo los animales herbívoros.

Entre las funciones principales de los alimentos se encuentran proporcionar energía esencial para que los seres vivos puedan realizar todas sus actividades, desde las funciones básicas como la respiración y la circulación hasta las más complejas como el pensamiento y el movimiento, los principales proveedores de energía en la dieta son los carbohidratos y las grasas. Además, los alimentos aportan los nutrientes necesarios para el crecimiento, desarrollo, reparación y mantenimiento de las células y los tejidos del cuerpo, entre estos nutrientes se tienen las proteínas, las vitaminas y los minerales. Por otro lado, algunos alimentos contienen algunas sustancias que ayudan a regular ciertas funciones del organismo.

Los alimentos se pueden clasificar según su origen, su función, el grupo alimenticio y de acuerdo al grado de procesamiento (Babio et al., 2020). De acuerdo a la fuente de donde provienen los alimentos, se clasifica en:

- Alimentos de origen vegetal: los cuales provienen directamente de la tierra como las verduras, hortalizas, leguminosas, frutas, tubérculos, grasas o aceites vegetales, azúcares y cereales. Estos aportan grandes cantidades de minerales, vitaminas, fibra y en menor proporción proteínas y carbohidratos.



Figura 1. Grupo de alimentos de origen vegetal

Nota: alimentación sana: Tomado de: <https://es.123rf.com>

- Alimentos de origen animal: tal como se indica provienen directamente de los animales, siendo los más comunes los conocidos como animales de corral como el pollo, cerdo, res, oveja, pavo, etc. y también incluyen los obtenidos a través de la pesca. En este grupo se incluyen las carnes rojas y blancas, productos lácteos, huevos, grasas y aceites de origen animal.



Figura 2. Grupo de alimentos de origen animal.

Nota: alimentos de origen animal. Tomado de: <https://es.123rf.com>

- Alimentos de origen mineral: que son los minerales propiamente o productos que contengan cantidades muy elevadas de los mismos, con el agua y las sales minerales.

Según su utilidad o la función que tienen los alimentos al ser ingeridos se pueden clasificar en:

- Alimentos energéticos: que suministran energía para realizar actividades físicas como por ejemplo los productos derivados de las harinas, pan, pastas, galletas, pastas, cereales, dulces, miel, azúcar, gelatinas, mermeladas, frutos secos, etc.

- Alimentos constructores o plásticos: los cuales favorecen la reparación celular necesaria en la formación de tejido y en la cicatrización de los músculos y la piel, como por ejemplo leche, derivados lácteos, carnes rojas, carnes blancas, huevos y legumbres.
- Alimentos reguladores o protectores: estos alimentos contienen vitaminas, minerales y fibra que ayudan a controlar funciones fisiológicas para que los procesos ocurran con total normalidad, como por ejemplo las hortalizas, verduras y frutas.

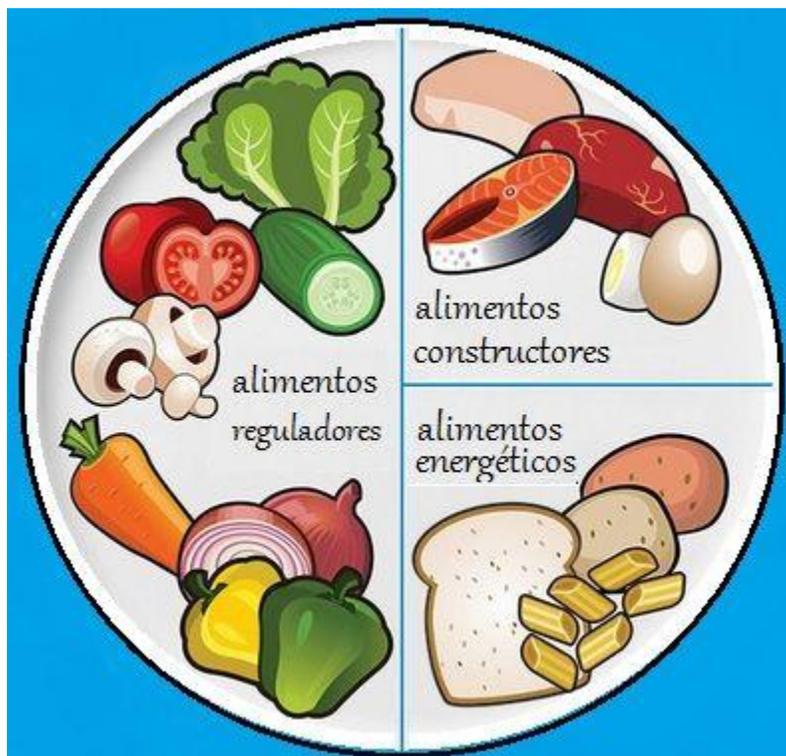


Figura 3. Tipos de alimentos según su función.

Nota: función de los alimentos. Tomado de: <https://es.123rf.com>

De acuerdo, al grado de procesamiento los alimentos pueden catalogarse en no procesados, mínimamente procesados, procesados y ultraprocesados.



Figura 4. Clasificación de los alimentos según el grado de procesamiento.

Nota: como se clasifican los alimentos según su procesamiento. Tomado de: <https://www.insp.mx>

Otra forma de clasificar los alimentos es según sus nutrientes, dividiéndolos en siete grupos que son:

- Grupo I: lácteos y derivados.
- Grupo II: carne, huevos y pescado.
- Grupo III: tubérculos, legumbres y frutos secos.
- Grupo IV: verduras y hortalizas.
- Grupo V: frutas.
- Grupo VI: pan, pasta, cereales y azúcar.

- Grupo VII: grasas, aceites y mantequillas.



Figura 5. Grupo de alimentos.

Nota: clasificación de los alimentos en grupos. Tomado de: <https://www.estudiahosteleria.com>

1.3 Principales constituyentes

Los alimentos están compuestos por una variedad de sustancias que incluyen macronutrientes como carbohidratos, grasas y proteínas, micronutrientes como vitaminas y minerales, y otros componentes importantes como agua, fibra, entre otros. A continuación, se describen los principales constituyentes de los alimentos:

Agua:

El agua es un componente vital para cualquier organismo vivo y en la mayoría de los alimentos se encuentra presente en un alto porcentaje, si bien es cierto que no sufre cambios químicos en los procesos metabólicos, sin la presencia de este compuesto en la mayoría de los alimentos no es posible que ocurran innumerables reacciones bioquímicas y metabólicas, como por ejemplo la regulación de la temperatura, el transporte de nutrientes y la eliminación de desechos en los organismos (Fennema et al., 2017).

El agua está presente en una gran cantidad de mecanismos biológicos debido a su capacidad para trasladar y disolver sustancias, para mantenerlas en solución o en suspensión; además interviene en muchas reacciones de hidrólisis y en la fotosíntesis que son procesos vitales para la preservación de la vida en la tierra, estas reacciones de hidrólisis permiten convertir sustancias complejas en otras más simple que puedan ser metabolizadas por los organismos con mayor facilidad (Coultate, 2023).

En algunos alimentos el agua está presente hasta en un 97%, como por ejemplo en algunas frutas, inclusive está presente en aquellos alimentos que aparentan estar completamente secos, con la excepción de la sal común de mesa y el azúcar que no contienen agua en su composición. Las propiedades físico-químicas del agua influyen en el diseño de los procesos productivo de los alimentos, ya que afecta a las propiedades de los alimentos y, al mismo tiempo las propiedades de los alimentos afectan a las del agua. La cantidad de agua en los alimentos también influye en el crecimiento de los microorganismos, y por lo tanto en la vida útil del mismo (Badui, 2020).

Carbohidratos:

Los carbohidratos se encuentran de forma muy abundante en la naturaleza, junto con las grasas y las proteínas son la base de la alimentación, son los más consumidos por los seres humanos. A diferencia de los carbohidratos de origen animal, los que se encuentran en mayor variedad y cantidad son los de origen vegetal, generados como producto de la fotosíntesis y constituyen los principales compuestos químicos que almacenan la energía radiante del sol. Los carbohidratos tienen diversas funciones, la glucosa que se sintetiza en las plantas constituye la materia prima primordial para la producción de la mayoría de los carbohidratos, se considera el combustible más común para cubrir las necesidades energéticas de la mayoría de los organismos, debido a que éstos obtienen energía mediante el metabolismo bioquímico de los carbohidratos, además son materiales de reserva energética y originan otros azúcares, como la sacarosa y la fructosa, así como también polímeros como la celulosa y el almidón (Badui, 2020).

Este tipo de compuesto constituyen la principal fuente de energía para los organismos, se encuentran en una amplia variedad de alimentos, como por ejemplo los cereales, las legumbres, frutas y verduras. Tal y como su nombre sugiere los carbohidratos o los hidratos de carbono son compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, tienen estructura polihidroxiladas con grupos aldehídos o cetona, o sus derivados (BeMiller, 2018). Casi todos los compuestos orgánicos que se encuentran en las plantas y en los animales son derivados de hidratos de carbono, inclusive la síntesis de proteínas se lleva a cabo con los aminoácidos provenientes de la reacción entre hidratos de carbono y diversas sustancias nitrogenadas.

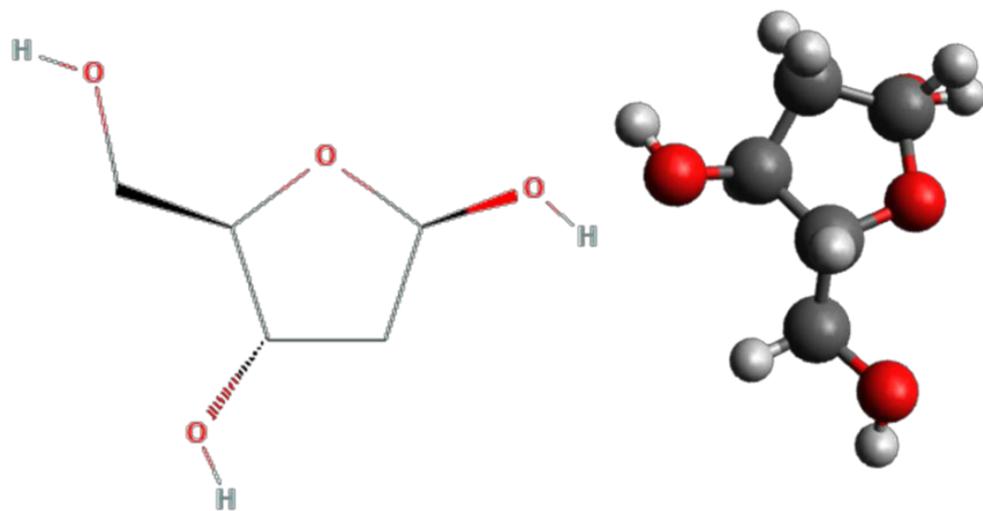


Figura 6. Estructura de los carbohidratos.

Nota: Tomado de: <https://blogceta.zaragoza.unam.mx>

Existe un gran número de carbohidratos, pero los más conocidos son la sacarosa, la glucosa, la fructosa, el almidón y la celulosa, también hay otros que se encuentran en menor proporción en los alimentos pero que son igual de importantes por sus características físicas, químicas y nutrimentales. La estructura química de los carbohidratos establece sus características y la utilidad de los mismos, además que afecta algunas características de los alimentos, como el sabor, la viscosidad, la estructura y el color, en otras palabras, las propiedades de los alimentos, dependen del tipo de carbohidrato que contienen y de las reacciones en que éstos intervienen, sin importar si son naturales o procesados.

Se pueden clasificar en monosacáridos (glucosa, fructosa), disacáridos (sacarosa, lactosa) y polisacáridos (almidón, celulosa). La glucosa es la forma de carbohidrato principal debido a que su metabolismo en las células, se lleva a cabo por medio de la glucólisis y del ciclo de Krebs, en donde se oxida completamente a CO_2 y H_2O generando energía. Por su parte, el glucógeno y el almidón, son

polímeros de glucosa que se utilizan como reserva de estos compuestos debido a que su combustión también genera energía (Marcano, 2014).

Grasas:

Las grasas también conocidas como lípidos son un grupo de moléculas con estructuras muy diversas, constituidos principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, aunque también contienen fósforo y nitrógeno, son una fuente concentrada de energía y desempeñan funciones importantes en el cuerpo, como el almacenamiento de energía, la protección de órganos y el transporte de vitaminas liposolubles. Son insolubles en agua y en solventes polares, y no se identifican con un solo grupo químico por lo que las grasas se pueden clasificar en ácidos grasos saturados e insaturados, glicéridos como ésteres de ácidos grasos y glicerol, y lípidos no glicéridos como los esteroides, las ceras, entre otros. También se pueden clasificar como grasas saturadas, insaturadas y trans, el primer grupo se encuentra presente en carnes rojas y productos lácteos, las insaturadas en aceites vegetales y frutos secos, y las grasas trans están presentes en algunos alimentos procesados (Rembado, 2009).

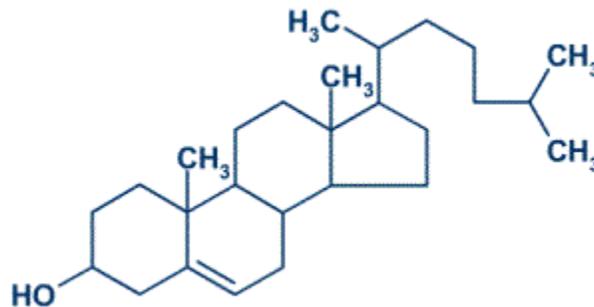


Figura 7. Estructura de los lípidos.

Nota: Tomado de: <https://blogceta.zaragoza.unam.mx>

Los lípidos no sólo son una reserva energética para el organismo, también son una parte importante de las estructuras de las membranas celulares y actúan como aislantes en la capa de mielina que recubre los nervios, con respecto a los alimentos este grupo de compuestos le aportan textura y sabor característico a los mismos, así como también contribuyen a las propiedades sensoriales y de nutrición. Generalmente, se consideran que las grasas son de origen animal y los aceites de origen vegetal, también se diferencian en que las grasas son sólidas a temperatura ambiente mientras que los aceites son líquidos. Entre los alimentos que son buena fuente de lípidos se tienen las semillas oleaginosas, los tejidos animales tanto terrestres como marinos, las frutas y las hortalizas poseen muy bajas concentraciones de grasas, excepto el aguacate, algunos frutos secos y las aceitunas (Badui Dergal, S., 2016); (Coultrate, T., 2023).

Proteínas:

Las proteínas son un conjunto de moléculas orgánicas, más específicamente de polímeros lineales, presentan pesos moleculares muy elevados y están constituidos por moléculas más pequeñas que se conocen con el nombre de aminoácidos, los cuales se unen entre sí mediante enlaces peptídicos que son enlaces covalentes en el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino de otro aminoácido; estos enlaces peptídicos pueden ser hidrolizados por acción del agua conjuntamente con enzimas u otros reactivos. Estas moléculas de gran tamaño están formadas principalmente por carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, algunas presentan fósforo y azufre, y en menor cantidad hierro, cobre y magnesio. Los aminoácidos se caracterizan por la presencia de un grupo carboxilo y un grupo amino enlazados al mismo carbono, con una cadena carbonada a los lados que es distinta en cada aminoácido, existiendo 20 tipos de aminoácidos diferentes. La polaridad de la cadena carbonada presente en determina si el aminoácido es polar, no polar y con carga eléctrica.

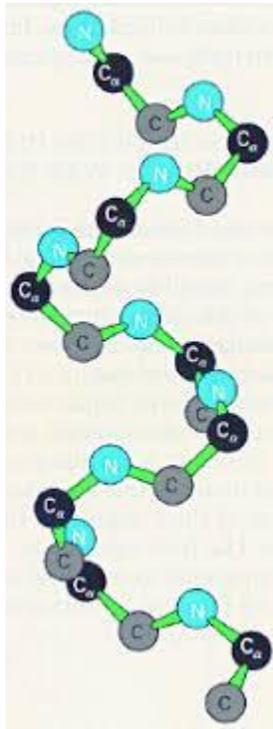


Figura 8. Estructura de una proteína

Nota: Tomado de: <http://www.biologia.edu.ar>

Este tipo de compuestos se encuentran en todas las partes de las células, por lo que son esenciales para el crecimiento, reparación y mantenimiento de los tejidos de los seres vivos, están presente tanto en alimentos de origen animal como en la carne como en los de origen vegetal, por ejemplo, las leguminosas. En los seres humanos desempeñan un papel importante en diversas funciones corporales, como la producción de enzimas catalizadoras de las reacciones metabólicas, también se encuentran las proteínas de transporte como la hemoglobina, las estructurales que permiten dar estructura a los tejidos, las proteínas reguladoras como por ejemplo las hormonas y los anticuerpos que son proteínas conocidas como inmunoglobulinas (Coultrate, T., 2023).

En los alimentos las proteínas juegan un papel fundamental debido a que poseen propiedades nutricionales muy importante, gracias a que de estas

moléculas se consiguen compuestos nitrogenados que ayudan a mantener la estructura y el crecimiento de la persona que las consume, además, por sus características funcionales, permiten constituir la estructura y las propiedades finales del alimento en sí. Existe una relación directamente proporcional entre la nutrición y la respuesta inmune del organismo ante enfermedades como cáncer, obesidad, procesos inflamatorios y hasta con el desarrollo neuronal y la capacidad cognitiva, de allí la importancia de tener acceso al consumo de proteínas de calidad en cantidades adecuadas siempre manteniendo una dieta balanceada.

Las proteínas alimentarias son fácilmente digeribles y no tóxicas, están presentes en una alta cantidad; existen infinidad de combinaciones de aminoácidos por lo que hay una gran variedad de estructuras que cumplen diversas funciones de acuerdo a las propiedades fisicoquímicas de la cadena, las cuales definen el estado de la proteína, su carga, su afinidad por el agua, el peso, entre otros. Las proteínas incorporan en la alimentación elementos químicos como el nitrógeno y el azufre que no los aportan los carbohidratos ni las grasas (Fennema et al., 2017). Las proteínas poseen la particularidad de adoptar estructuras diferentes en los alimentos, producto de la desnaturalización de las misma, logrando reacomodarse para formar estructuras nuevas, de allí la capacidad de algunos alimentos de formar nuevas estructuras y adoptar otras formas como por ejemplo el merengue, las emulsiones, geles y masas.

Otros componentes importantes: Vitaminas y minerales:

Las vitaminas son compuestos orgánicos esenciales para el correcto funcionamiento del organismo humano, en pequeñas cantidades, éstas facilitan el metabolismo de otros compuestos y nutrientes, y permiten mantener procesos fisiológicos esenciales para los organismos vivos, por esta razón se clasifican como micronutrientes. A pesar de ser requeridas en pequeñas cantidades, su ausencia o deficiencia puede acarrear consecuencias graves para la salud. En este grupo se incluyen 13 compuestos orgánicos que tienen estructuras químicas muy diferentes; como tal estos compuestos no generan energía, pero si regulan las reacciones

anabólicas y catabólicas de los lípidos, las proteínas y los carbohidratos que sí generan energía y favorecen la síntesis de otras sustancias (Coultrate, 2023).

Cada vitamina tiene funciones específicas en el organismo, como por ejemplo la vitamina A actúa sobre la visión, la vitamina C sobre el sistema inmunológico y la vitamina K favorece la coagulación de la sangre. Al no ser producidas por el cuerpo en cantidades suficientes, deben obtenerse a través de una alimentación equilibrada y variada, adaptando la alimentación a los requerimientos diarios de vitaminas, los cuales dependen de la edad, el género, también varía cuando las mujeres están embarazadas o cuando son niños lactantes. Debido a que las vitaminas tienen estructuras muy diferentes y no se clasifican bajo un grupo de compuesto, sino que se clasifican según su solubilidad en vitaminas liposolubles (A, D, E y K) y vitaminas hidrosolubles (complejo B y C). Las vitaminas liposolubles son solubles en solventes orgánicos y en aceites, pero no son solubles en agua como sí lo son las hidrosolubles, ya que presentan dobles enlaces en sus estructuras que pueden ser oxidados (Badui, 2020).

Los alimentos de origen vegetal contienen más cantidad de vitaminas hidrosolubles que de liposolubles, mientras que los de origen animal presentan mayor cantidad de las liposolubles, con algunas excepciones como las espinacas que contienen grandes cantidades de vitamina K. La disponibilidad de las vitaminas en los alimentos de origen vegetal se ve afectada por las prácticas agrícolas, la temporada de cosecha, la exposición al sol, el grado de madurez del alimento, su forma de almacenar y de preparar; mientras que la disponibilidad de las vitaminas en los alimentos de origen animal depende de la nutrición del animal, la salud, la raza, etc. Comercialmente se encuentran disponibles vitaminas sintetizadas química o biológicamente para que puedan utilizarse en la industria de alimentos para fortificar productos que se consumen frecuentemente, principalmente para reponer el aporte nutricional de las vitaminas en alimentos que han perdido o disminuido su cantidad durante los procesos productivos (Rembado, 2009).

Por su parte, los minerales corresponden a un grupo de elementos químicos inorgánicos esenciales para el cuerpo en pequeñas cantidades, éstos se encuentran en los alimentos, entre los cuales se destacan los siguientes: calcio, cinc, cloro, flúor, fósforo, hierro, magnesio, potasio, sodio y yodo. La absorción de los minerales depende de su solubilidad, los minerales que forman compuestos simples que sean solubles son absorbidos con facilidad por el organismo, mientras que aquellos como el hierro, el magnesio, el calcio y el fósforo son difíciles de asimilar porque forman compuestos insolubles. Algunos de estos elementos se consideran nutrientes indispensables debido a que juegan un rol importante para que el cuerpo humano funcione adecuadamente, cuando no se encuentran disponibles en cantidades suficientes causan daños en la salud.

La disponibilidad de los minerales permite la formación de tejidos no blandos del cuerpo como los huesos y los dientes como es el caso del calcio y el fósforo, también pueden actuar como cofactor de enzimas, formando parte de las estructuras de las moléculas de vitaminas y proteínas, lo que le permite regular la presión osmótica de las células y también el pH. Los minerales como el potasio y el sodio participan en la regulación de la tensión arterial y el magnesio en la función nerviosa. En el caso del hierro es el componente principal de la hemoglobina cuya función es transportar el oxígeno y también forma parte de la mioglobina que se encarga de almacenar el oxígeno, el hierro también actúa como cofactor de diversas enzimas (Badui, 2020).

1.4 La pirámide alimenticia

La pirámide alimenticia, también conocida como pirámide alimentaria o nutricional es un gráfico con forma de pirámide o triángulo que muestra cuáles son los alimentos que se deben consumir a diario y en qué proporciones para seguir una alimentación saludable que permita cubrir los requerimientos nutricionales del cuerpo. La pirámide está dividida en 5 o 6 escalafones cada uno de los cuales representa un tipo de alimento, éstos se disponen ordenados por jerarquía y de diferentes tamaños para mostrar las porciones en que deben consumirse esos alimentos, de esta manera se puede visualizar de forma práctica y fácil todos los grupos de alimentos que se recomiendan consumir. Esta representa una herramienta muy útil para promover la alimentación saludable y educar a las personas para que mantengan una nutrición adecuada (Tovar, J., 2019)

La pirámide de alimentos es muy importante para conservar una dieta balanceada, ya que permite identificar los alimentos de cada grupo que se deben ingerir de acuerdo a los requerimientos diarios para realizar las actividades del día a día. En la base de la pirámide se incluyen aquellos alimentos que se deben consumir con mayor frecuencia y cantidad, los niveles superiores contienen los alimentos que se deben consumir en menor cantidad a medida que se va ascendiendo en la pirámide. En la pirámide alimenticia se distinguen dos categorías: los alimentos de ingesta habitual y los alimentos de ingesta esporádica.

En la cima de la pirámide se encuentran aquellos alimentos que se deben consumir con menor frecuencia y mayor moderación, como dulces, snacks, bollería y refrescos azucarados. Esta zona representa los alimentos que se deben consumir de vez en cuando y disfrutar con moderación, debido a que a pesar de ser sabrosos no aportan nutrientes importantes. A medida que se desciende por la pirámide los alimentos se vuelven más cotidianos, encontrando en la parte central al grupo que incluye las carnes, pescados, lácteos y huevos, los cuales se deben consumir con moderación. La base de la pirámide está formada por frutas, verduras, legumbres y cereales que se pueden ingerir diariamente.

En el segundo nivel se incluyen alimentos que se recomiendan consumir de forma ocasional y moderada, pero en mayor cantidad, debido a que aportan nutrientes esenciales como proteínas, pero también contienen grandes cantidades de grasas, entre ellos se incluye las carnes rojas, los embutidos, carnes procesadas, entre otros. Mientras que, en el tercer nivel se incluyen alimentos cuyo consumo es conveniente para el organismo debido a que son fuentes ricas en energía y proteínas, pero no se pueden consumir de forma desmesurada porque pueden ocasionar trastornos metabólicos y nutricionales, entre esto alimentos se incluyen los lácteos, carnes magras, carnes blancas, huevos, legumbres y frutos secos.

El cuarto escalafón incluye alimentos que se recomiendan ingerir abundantemente y a diario, como frutas, verduras y hortalizas. El último nivel o la base de la pirámide está constituido por alimentos que se pueden consumir a diario, pero dependiendo de la actividad física del individuo, por lo que las porciones recomendadas serán directamente proporcionales a la intensidad de la actividad, entre estos alimentos se incluyen productos elaborados con harinas de cereal de grano entero, pasta y arroz integral, papas, legumbres tiernas, etc.

Si bien es cierto que las pirámides alimenticias varían en cada país, independientemente de las variaciones regionales, las mismas coinciden en que la proporción ideal de macronutrientes para una dieta saludable es: 55% de carbohidratos, 30% de grasas y 15% de proteínas, fibras, vitaminas y minerales.

La química de los alimentos es una disciplina fundamental que juega un papel crucial en la comprensión, desarrollo y producción de alimentos seguros, nutritivos y sabrosos, en beneficio de la salud y el bienestar de la población. Los alimentos son sustancias esenciales para la vida, proporcionando a los seres vivos los nutrientes y la energía necesarios para el crecimiento, desarrollo, funcionamiento y mantenimiento de sus funciones vitales y su composición química es compleja y variada, los principales constituyentes de los alimentos se clasifican en macronutrientes (carbohidratos, grasas y proteínas) y micronutrientes (vitaminas y minerales). Cada uno de estos componentes tiene funciones específicas en el

organismo y es esencial tener una alimentación variada, completa que incluya todos los grupos alimenticios y adecuada a las necesidades de cada individuo.

Mantener una alimentación equilibrada otorga muchos beneficios al organismo, como por ejemplo la reducción del riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer y obesidad, además permite mantener un peso corporal saludable, fortalece el sistema inmunológico, mejora el estado de ánimo y la energía, lo que se traduce en mayor bienestar general. Para lograr una alimentación balanceada, es importante consumir una variedad de alimentos de todos los grupos alimenticios tanto frutas y verduras, como cereales integrales, legumbres, carnes, pescados, huevos, lácteos y grasas saludables.

La comprensión de la definición química de los alimentos, sus principales constituyentes y la pirámide alimentaria es fundamental para tomar decisiones informadas sobre nuestra dieta y adoptar hábitos alimenticios saludables que contribuyan a nuestro bienestar general y a la prevención de enfermedades crónicas. Este capítulo permitió comprender la definición de los alimentos desde un punto de vista químico, también permitió describir sus principales constituyentes y conocer la valiosa información que ofrece la pirámide alimentaria para conseguir una dieta saludable y balanceada. La comprensión de estos conceptos fundamentales, permite ampliar el panorama para tomar decisiones correctas sobre la alimentación, promoviendo así un estilo de vida saludable y equilibrado.

En resumen, la química de los alimentos desempeña un papel integral en nuestra comprensión de la composición, propiedades y transformaciones que experimentan los alimentos desde su producción hasta su consumo. Este capítulo ha examinado cómo los principios químicos se aplican a diversos aspectos de los alimentos, incluyendo su valor nutricional, sabor, textura, y seguridad.

La química nos permite desentrañar los complejos procesos que determinan la calidad y la estabilidad de los alimentos. Desde la conservación de nutrientes esenciales hasta la prevención de la contaminación y el deterioro, la ciencia química

proporciona herramientas fundamentales para garantizar que los alimentos que consumimos sean seguros y beneficiosos para nuestra salud.

Además, la comprensión de la química de los alimentos nos capacita para innovar y mejorar continuamente los productos alimentarios. Las tecnologías avanzadas de procesamiento y conservación, desarrolladas a través de la investigación química, permiten la creación de alimentos que no solo son más nutritivos, sino también más accesibles y sostenibles.

En última instancia, el estudio de la química de los alimentos nos ofrece una perspectiva profunda sobre cómo interactúan los componentes químicos dentro de los alimentos y cómo podemos aplicar este conocimiento para mejorar la calidad de vida. La química no solo revela los secretos detrás de lo que comemos, sino que también nos inspira a explorar nuevas fronteras en la ciencia alimentaria, promoviendo un futuro en el que los alimentos sean más seguros, saludables y sostenibles para todos.

CAPÍTULO 2. ACTIVIDAD DE AGUA

2.1 Introducción

Aunque no se considera un nutriente, el agua es un componente fundamental en los alimentos, pues es el compuesto principal en la mayoría de estos y es esencial para llevar a cabo reacciones bioquímicas; por lo cual resulta necesario para tecnólogos, ingenieros y jefes de laboratorio comprender la estructura y el estado del agua en los alimentos. De manera que, en la elaboración de alimentos deshidratados, así como también en su rehidratación y congelamiento, es importante conocer las propiedades físicas y químicas de este compuesto para garantizar la calidad del producto final y evitar posibles daños, pues como se sabe, el agua es única en su capacidad de existir en los tres estados físicos en nuestro planeta (Arévalo, 2017).

Ya se ha establecido que los alimentos en general contienen agua, pero es necesario establecer también el término "actividad de agua", el cual se refiere al contenido total de agua en un alimento; pues en los tejidos animales y vegetales, el agua no se distribuye de manera uniforme, y una parte de ella queda en estado móvil o libre, lo que se conoce como actividad de agua (A_w). Es necesario conocer y determinar la A_w en alimentos pues esta influye directamente en los cambios que experimenta el alimento a lo largo de su vida útil, y varía según el tipo de alimento, el procesamiento y el método de conservación utilizado; así que, los alimentos con mayor cantidad de agua libre son más susceptibles a una descomposición rápida o a un rápido desarrollo microbiano, lo que los hace inestables (Barrios, 2019).

Por otro lado, se tiene que según Arevalo (2017), ha sido establecido que la presencia de agua en los alimentos es fundamental para sus procesos vitales, y afecta significativamente su estructura, apariencia, sabor y capacidad de conservación a largo plazo, cada uno con su propio contenido característico; además, la cantidad de agua es crucial para la susceptibilidad a la descomposición, y dado que la mayoría de los alimentos frescos contienen grandes cantidades de

agua, se requieren métodos efectivos de conservación para almacenarlos durante períodos prolongados. Es necesario destacar que la eliminación del agua, ya sea mediante deshidratación convencional o mediante la formación de cristales de hielo puro, altera significativamente las propiedades naturales de los productos biológicos.

También es importante señalar que, el contenido de agua de un alimento se refiere a la cantidad total de agua que lo compone, y que en los tejidos animales y vegetales, el agua no se distribuye de manera uniforme debido a la presencia de complejos hidratados con proteínas, carbohidratos y estructuras internas propias de cada tejido, lo que evita que toda el agua reaccione, dejando una parte sin reaccionar; esta distribución heterogénea de agua también se observa en productos procesados, ya que sus componentes se encuentran en diferentes formas de dispersión. Además, dependiendo del alimento, puede haber cantidades variables de agua, lo que resultará en una mayor o menor cantidad de agua libre presente en el producto final, y cuanta más agua contenga un alimento en su composición, será más perecedero, mientras que, menos cantidad de agua o actividad de agua contenga, será menos perecedero (Barrios, 2019).

Es un hecho que la molécula simple del agua es esencial para la vida y determina la existencia de vida en cualquier parte del universo, pues juega un papel crucial en numerosas funciones del cuerpo humano, es el medio donde tienen lugar la mayoría de los procesos biológicos en nuestro cuerpo y es un componente esencial de la sangre, saliva y mucosidad; además, juega un papel fundamental en la regulación de la temperatura corporal, ya que, aproximadamente dos tercios de nuestro peso corporal está compuesto por agua, en alrededor del 60% en hombres, entre 50-55% en mujeres y hasta un 75% en recién nacidos, siendo que esta proporción disminuye con la edad. Las propiedades físico-químicas del agua son fundamentales para sus funciones y como solvente universal, interactúa con la mayoría de las sustancias para disolverlas (Roper, 2016).

De manera que, resulta vital para el ser humano ingerir agua en la dieta diaria, recordando que la misma no solo ingresa a nuestro cuerpo mediante el vaso

de agua que tomamos, sino que también una parte importante ingresa a través de los alimentos, los cuales nos aportan cerca del 20% del agua que necesitamos consumir diariamente, contenida en productos como verduras, frutas, lácteos, carnes, pescado, huevos, y en menor proporción panes y cereales (Arevalo, 2017).

Debido a la relevancia del tema en la industria alimentaria, en este capítulo se estará desarrollando la importancia del agua en los alimentos y las propiedades de esta que les favorecen, la definición de actividad de agua, su determinación, la influencia de esta en el deterioro de los alimentos y, la importancia de su control durante el almacenamiento y vida de anaquel de los alimentos.

2.2 Estructura y Propiedades del agua

Según lo expresado por Aedo (2016), el agua es una sustancia vital con una estructura y propiedades excepcionales conferidas por su composición; se trata de una sencilla molécula conformada por tres átomos, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos mediante enlaces polares, que a su vez le permiten conectarse a otras moléculas adyacentes mediante puentes de hidrógeno.

En este mismo contexto, se tiene que el agua es una molécula simple compuesta por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, unidos mediante enlaces covalentes muy fuertes, lo que confiere a la molécula una gran estabilidad. Presenta una distribución asimétrica de la densidad electrónica, ya que el oxígeno, elemento muy electronegativo, atrae los electrones de los enlaces covalentes, lo que resulta en una mayor densidad electrónica o carga negativa alrededor del oxígeno, y una menor carga positiva cerca de los hidrógenos.

Esta molécula tiene una forma angular, con un ángulo de aproximadamente 105° entre los dos átomos de hidrógeno, lo que la convierte en una molécula polar capaz de interactuar con otras sustancias polares. Además, mediante un enlace químico especial y de gran importancia llamado puente de hidrógeno, las cargas positivas de una molécula de agua se unen a las cargas parciales negativas de otra molécula de agua que está cercana; cada una de estas moléculas puede llegar a formar 4 puentes de hidrógeno con otras, lo que implica una gran variedad de

propiedades funcionales, físicas y químicas para el agua (Carbajal & González, 2012).

Los puentes de hidrógeno se forman cuando el átomo electronegativo, en este caso particular el oxígeno del agua, es pequeño y tiene un par de electrones no compartidos y una disposición geométrica que permite que el hidrógeno actúe fácilmente como un puente entre dos átomos electronegativos, creando una estructura tetraédrica reticulada que es responsable de sus singulares propiedades físico-químicas al unirse a otras cuatro moléculas de agua (Ver Figura 9). La fuerza de atracción entre moléculas es muy significativa, ya que las pequeñas moléculas de agua pueden acercarse más entre sí que las moléculas más grandes, y su alta polaridad genera una fuerte atracción, tanto que la energía asociada a un puente de hidrógeno entre moléculas de agua es aproximadamente de 5,5 kcal/mol, sumando a esto las interacciones de Van der Waals entre moléculas cercanas, por lo tanto, es difícil que se separen y se escapen en forma de vapor (Petron, 2019).

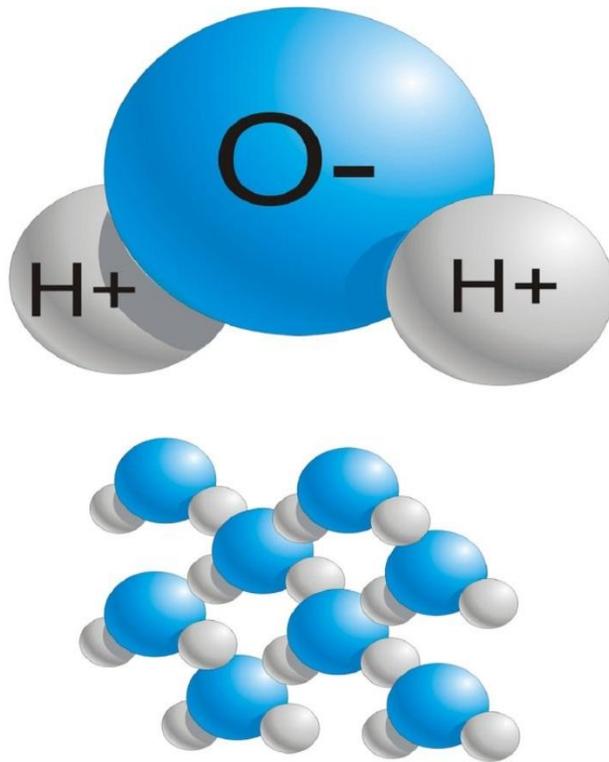


Figura 9. Estructura del agua.

Nota: Tomado de: <https://www.renovablesverdes.com>.

Entre las múltiples características del agua se tiene que esta es insípida, es inodora, es transparente y en volúmenes reducidos es incolora, sin embargo, cuando se tiene un gran volumen de agua, como en el mar o en un lago, se observa de color azul claro, esto es una propiedad intrínseca originada por la dispersión y absorción selectiva de la luz blanca (Wakim & Grewal, 2024).

La propiedad principal del agua es que es un disolvente universal, esto gracias a que la distribución heterogénea de carga positiva y negativa entre sus átomos hace que interaccione con la mayoría de las sustancias y, por tanto, las

disuelva (Roper, 2016); además, debido a su estructura angular, a la facilidad para formar puentes de hidrógeno, a la naturaleza polar de sus enlaces H – O y a su tamaño pequeño la molécula de agua es altamente reactiva que puede entonces disolver diversidad de sustancias hidrófilas, iónicas y moleculares e impedir la disolución de sustancias apolares hidrófobas (Carbajal & Fernández, 2016).

Por otra parte, debido a que el agua posee alta cohesividad intermolecular, se requiere mucha energía para romper los puentes de hidrógeno, motivo por el cual, el agua tiene un punto de ebullición muy elevado (Celestino Vázquez, 2023). Además, esta característica es causante que el agua permanezca en estado líquido en un amplio rango de temperaturas, en lugar de ser un gas, como correspondería dada su baja masa molecular (Aedo, 2020).

El alto calor de vaporización del agua, el cual es de 540 Kcal/L a 25 °C, es una característica que le confiere la propiedad de ser termorreguladora o poseer un efecto refrigerante gracias a la atracción que surge entre las moléculas adyacentes de agua, que le proporcionan una gran cohesión interna en su estado líquido, siendo que para poder evaporarse debe absorber calor más que ninguna otra sustancia. También es importante señalar que el agua posee una elevada conductividad térmica que le permite una rápida distribución y regulación del calor, y un calor específico alto con un valor de 1 Kcal/kg°C, lo que la convierte en una amortiguadora y reguladora de cambios térmicos, que sufre poca modificación de su temperatura, aunque acepte o ceda calor en grandes cantidades, pues cuenta con alta capacidad de almacenar calor (Carbajal & Fernández, 2016).

Otra propiedad del agua, de acuerdo a Wakim & Grewal (2024), es la cohesión, que se refiere a la tendencia de las moléculas de agua a unirse entre sí, estas fuerzas cohesivas que actúan entre las moléculas de agua son las responsables de la tensión superficial y logran que las moléculas en la superficie al carecer de otras moléculas similares en todos sus alrededores, se adhieren más fuertemente a las que están directamente en contacto con ellas en esa área; sin embargo, algunas sustancias pueden romper esta atracción y el alto valor de tensión superficial que el agua tiene.

La adherencia, propiedad física muy significativa del agua, se define como la capacidad de una molécula de agua para unirse a otra sustancia, fenómeno que ocurre porque los enlaces de hidrógeno son únicos en su capacidad para romperse y reformarse con frecuencia; esta continua reorganización de los enlaces permite que una parte de las moléculas en una muestra determinada se adhieran a otras sustancias. Esta característica, provoca la acción capilar, que es la habilidad de un líquido para ascender contra la gravedad en espacios reducidos (Carbajal & Fernández, 2016).

En ese mismo contexto, se tiene que el punto de fusión del agua es 0°C, por debajo de esta temperatura, el agua se convierte en sólido (hielo) y a diferencia de la mayoría de las sustancias, el agua en estado sólido tiene una densidad inferior a la del agua líquida, ya que se expande al congelarse; esto también se debe a los puentes de hidrógeno, los cuales hacen que las moléculas de agua se organicen de manera menos eficiente en el hielo que en el agua líquida, teniendo como resultado, que las moléculas estén más separadas en el hielo, lo que le confiere una menor densidad en comparación con el agua líquida, y esto explica que el hielo flote en el agua, mientras que muchos otros sólidos tienden a hundirse. En grandes cuerpos de agua, como lagos u océanos, el agua más densa se hunde al fondo, siendo que la máxima densidad del agua se alcanza aproximadamente a 4°C, lo que significa que el agua en el fondo de un lago o del océano suele tener esa temperatura (Wakim & Grewal, 2024).

2.3 El agua en los alimentos

El agua es el componente principal en muchos alimentos, una parte compone su estructura molecular, y de las interacciones existentes entre las moléculas de agua y los componentes de la materia seca del alimento dependerá la función de la misma en el producto (Aedo, 2020).

En los alimentos, el contenido de humedad se refiere al agua total presente en los mismos y puede presentarse de dos formas y estados energéticos, como agua libre y como agua ligada, siendo que estas poseen distintas propiedades; el agua libre se puede congelar, volatilizarse durante el calentamiento y es la

responsable principal de la actividad de agua (A_w), además, el agua libre en los alimentos interviene en transformaciones físicas, afecta directamente la velocidad de reacciones químicas y actividad enzimática, y propicia el desarrollo de microorganismos. Por otra parte, el agua ligada se encuentra unida o absorbida a la superficie sólida de los alimentos y no interviene en esos procesos (Urfalino & Worlock, 2017).

En este punto y debido a que las consideraciones presentadas anteriormente han llevado a la utilización de términos como agua ligada o no disponible y agua libre o disponible, estos términos deben ser explicados más detalladamente. El agua ligada o no disponible se refiere al agua que forma parte de la estructura del alimento, lo que significa que no está ni disponible, ni en movimiento, sino que está reaccionando con otros componentes; por otra parte, el agua libre o disponible se refiere al agua que está presente en el alimento y se encuentra en la periferia del mismo, es accesible sin reaccionar, por lo que es la responsable del crecimiento microbiano y de las reacciones químicas y bioquímicas que provocan el deterioro y la descomposición del alimento, dependiendo del tiempo y las condiciones de almacenamiento, puede ser eliminada de manera fácil a través del calentamiento y es la primera en congelarse (Barrios, 2019). En la Tabla 1 se pueden observar las principales diferencias entre el agua libre y el agua ligada en los alimentos.

Tabla 1. Diferencias entre agua libre y agua ligada.

Aspecto	Agua libre	Agua ligada
Movilidad	La mayor parte del agua es libre de fluir.	No puede fluir libremente pues está ligada a otros compuestos mediante enlaces de hidrógeno.
Función	Transporte de nutrientes. Disolvente. Participar en reacciones bioquímicas.	Componente de la estructura celular.
Asociación	Puede transformarse en agua ligada.	Puede transformarse en agua libre.
Propiedades	Se volatiliza fácilmente en el calentamiento, se congela primero y es responsable de la Aw.	No congela a -20°C.
Contenido	Aproximadamente un 95%.	Aproximadamente un 5%.

Fuente: con información de Anec (s.f.), y Damodaran et al. (2017).

En este mismo contexto, se sabe que el contenido de agua en un alimento se refiere a la cantidad total de agua que lo integra, sin embargo, en algunos el agua no se distribuye de manera uniforme debido a la presencia de complejos hidratados con proteínas, carbohidratos y estructuras internas específicas, lo que impide que toda el agua reaccione, dejando una parte sin reaccionar; esta distribución heterogénea del agua también se observa en productos procesados, donde los componentes pueden estar en diversas formas de dispersión y dependiendo del tipo de alimento, esto puede resultar en cantidades altas o bajas de agua, lo que a su vez influye en la cantidad de agua libre presente en el producto final, de manera que un alimento con un mayor contenido de agua tiende a ser más perecedero, mientras

que aquellos con baja actividad de agua se consideran menos perecederos (Barrios, 2019).

Por otra parte, es importante señalar que la estabilidad química de un alimento puede ser influenciada por su contenido de humedad y su actividad de agua, siendo que estas logran afectar las reacciones químicas de varias maneras, bien sea actuando como disolvente o reactivo, alterando la tasa de difusión, limitando las reacciones o modificando la movilidad molecular de los reactivos; estas reacciones químicas en muchos casos pueden ser complicadas y sus mecanismos difíciles de entender.

En cuanto a la estabilidad física se tiene que, resulta difícil separar la influencia de la actividad de agua y del contenido de humedad en la estabilidad física de los alimentos, pues el agua es fundamental en la estabilidad de los que se encuentran cerca de la transición vítrea, pues en estos, la estructura y textura pueden ser afectadas el agua, demostrándose en fenómenos como la cristalización, la aglomeración, la deliquesencia y el colapso, en la afectación de la estructura, y en la pérdida de crocancia, el endurecimiento y la rigidez como afectación a la textura.

2.4 Actividad del agua en los alimentos. Definición.

La actividad de agua (A_w) está definida como la fracción de agua que se encuentra libre en un producto y está accesible para que se desarrollen microorganismos y se lleven a cabo diferentes reacciones químicas en el alimento, que influyen en su estabilidad, por lo tanto, la actividad de agua es una característica que se utiliza frecuentemente para relacionar el contenido de agua con la calidad de un alimento (Talens Oliag, 2017).

Desde el punto de vista termodinámico se refiere a la relación entre las breves fases en equilibrio dentro de un sistema cerrado a temperatura constante; pero para entender esta relación de manera adecuada, es necesario revisar principios de fisicoquímica y termodinámica, tanto básica como aplicada; de manera que, la actividad del agua se considera una variable adimensional, pues se define

solo para sistemas en equilibrio, se aplica solo en condiciones tanto de temperatura como de presión específicas, mide la disponibilidad de agua en un producto donde actúa como solvente, reactante, humectante y nutriente. Es decir que, el agua contenida en los alimentos puede encontrarse de distintas formas, y su función va a depender de las interacciones existentes entre las moléculas de agua y los componentes de la materia seca del alimento (Tapia, 2020).

Por otro lado, se ha determinado que los valores de A_w oscilan entre 1, para el agua pura, y 0, para productos donde todo el contenido de agua está ligada de manera termodinámica a los sólidos presentes en el alimento, siendo que en sistemas reales esos valores de los extremos no se presentan, pues la mayoría de los alimentos frescos presentan un valor de A_w cercano a 0.98 - 0.99, y gran parte de los alimentos deshidratados presentan valores comprendidos entre 0.2 y 0.4, tal como se observa en la Tabla 2 (Tapia, 2020).

Tabla 2. Actividad de agua de algunos alimentos.

Alimento	A_w
Frutas y vegetales	0.97
Carnes rojas, de aves y pescados	0.95 – 0.97
Pan	0.96
Queso	0.68 – 0.93
Mermelada y jaleas	0.75 – 0.94
Miel	0.54 – 0.75
Leche en polvo y galletas	0.10 – 0.20

Fuente: <https://slideplayer.es/slide/10690720/>, 2016.

Muchos de los alimentos son sistemas multicomponentes, y están compuestos por dos o más de las fases, bien sean sólidas, líquidas, oleosas o acuosas, y no alcanzan un equilibrio entre estas fases, de manera que, la forma más común de describir teóricamente las propiedades del agua en estos sistemas es mediante la obtención de isothermas de sorción de agua, que muestran, a una temperatura constante, cómo el contenido de humedad en equilibrio se relaciona con la actividad del agua en el producto dentro de un rango específico de humedad.

En equilibrio, las presiones de vapor del producto y del aire circundante son iguales a una temperatura dada. Las isothermas de sorción tienen significados fundamentales, como la determinación de la humedad máxima estable o de monocapa, entalpías de adsorción-desorción, condiciones de humedad y temperatura para cambios de fase, entre otras, y también son útiles en aplicaciones prácticas, como predecir el tiempo de secado, la vida útil de productos deshidratados, cambios en la estabilidad alimentaria según su composición, selección de materiales de empaque y condiciones para el manejo y almacenamiento de alimentos (Aedo, 2020).

En líneas generales las isothermas de sorción son la representación gráfica isotérmicamente de la A_w contra el contenido de humedad presente en el alimento a temperatura y presión constantes, y son específicas para cada producto, pudiendo ser obtenidas mediante procesos opuestos de humidificación o adsorción, y deshumidificación o desorción; estos procesos pueden llegar a ser irreversibles, lo que genera diferencias entre las isothermas de adsorción y desorción, fenómeno conocido como histéresis. La histéresis en las isothermas de sorción puede indicar que los procesos de sorción de humedad en los alimentos no son reversibles; en el caso del agua en los alimentos, se puede considerar que existe un pseudoequilibrio, por lo que, si se presenta histéresis, es importante aclarar si el valor de A_w se obtuvo durante un proceso de desorción o deshumidificación, o, por el contrario, de adsorción o humidificación (Tapia, 2020).

Por lo tanto, resulta necesario conocer las isoterma de adsorción pues estas representan la cinética con la cual los alimentos adsorben humedad y se hidratan (higroscopicidad), a su vez, reflejan el comportamiento de los productos deshidratados o que se almacenan en atmósferas húmedas, lo cual es útil para establecer los contenidos de humedad críticos en los alimentos y así predecir los cambios potenciales que pueden suceder durante el almacenamiento (Aedo, 2020); de igual forma, la isoterma de desorción representa el proceso de deshidratación y refleja la pérdida de agua (Ver Figura 10), de manera que con estas curvas se diseñan los sistemas de almacenamiento, de secado y de rehidratación de los alimentos, entendiendo que no existe una isoterma única para determinado alimento pues los pretratamientos, la madurez, la variedad y los cambios químicos afectan el comportamiento y por ende, la forma de la isoterma (Urfalino & Worlock, 2017).

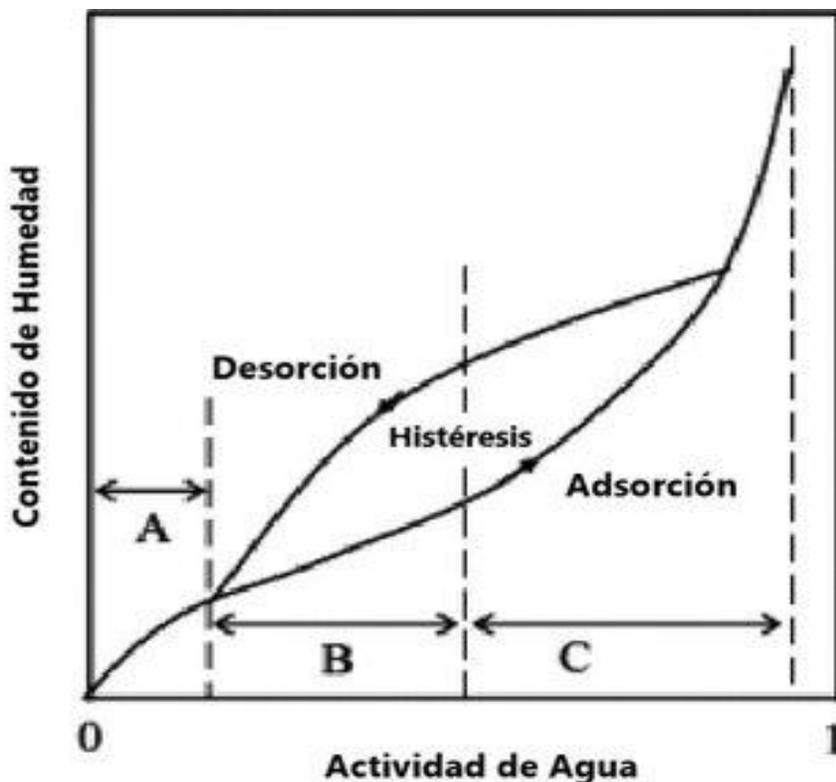


Figura 10. Isoterma de sorción típica de un producto.

Fuente: <https://www.researchgate.net/figure/>

En términos matemáticos la A_w se ha definido como la división de la presión parcial de vapor de agua en equilibrio con el alimento entre la presión parcial de vapor de agua en condiciones estándar, es decir, la presión de vapor parcial del agua pura, a igual temperatura (Cardona Serrate, 2019). Este parámetro fisicoquímico, según Basilio (2015), relaciona la Fugacidad y presión de vapor del agua en el alimento (f y p), con la Fugacidad y presión del vapor del agua pura (f° y p°), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A_w = \frac{f}{f^\circ} \cong \frac{p}{p^\circ}$$

Donde,

A_w : Actividad de agua.

f y p : Fugacidad y presión de vapor, del agua en el alimento.

f° y p° : Fugacidad y presión de vapor, del agua pura.

2.5 Influencia de la actividad del agua en el deterioro de los alimentos

El estudio de la actividad de agua (A_w) y su influencia en la calidad y estabilidad de los alimentos tuvo sus inicios en la década de 1950, debido a las inconsistencias observadas entre el contenido de humedad y la estabilidad de los productos. Los microbiólogos fueron pioneros en identificar que la A_w , más que el contenido total de humedad, influía en el crecimiento, muerte, supervivencia, esporulación y producción de toxinas de distintos microorganismos. Luego, entre los años 1970 al 1980, se centró la atención en estudiar cómo la A_w afectaba el crecimiento microbiano bajo diferentes condiciones de temperatura, valores de pH y niveles de A_w ; además, se revisaron los aspectos principales relacionados con la actividad de agua en la microbiología de los alimentos (Tapia, 2020).

En tal sentido, se pudo determinar que la actividad de agua es una medida termodinámica que refleja la energía del agua en un producto y está directamente relacionada con la susceptibilidad microbiana de los alimentos, además, esta

medida se correlaciona bien con las reacciones físicas y químicas que afectan la vida útil de los productos alimenticios. Su conocimiento permite predecir y maximizar la vida útil, tomar decisiones sobre el envasado, evitar la transición vítrea y abordar otros aspectos en la formulación y diseño de nuevos productos. Esta medida es mencionada en varias regulaciones y directrices de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los Estados Unidos y es la única que puede utilizarse como control en puntos críticos, y para la industria alimentaria es importante determinarla en laboratorios, porque es un parámetro fundamental para seleccionar el método y el tiempo de conservación de los alimentos (Cardona, 2019).

En este contexto, según Urfalino & Worlock (2017), se ha establecido que al conocer el valor de A_w , es posible predecir la estabilidad y vida útil de un alimento. Este valor refleja el grado de interacción con los componentes del producto, así como su formulación, el control en los procesos de deshidratación y rehidratación, y la migración de humedad durante el almacenamiento.

La actividad del agua (A_w) es un factor crucial en el deterioro de los alimentos, ya que influye en la disponibilidad de agua para microorganismos y reacciones químicas (Cardona, 2019), por lo que a continuación, se detallan las principales formas en que la actividad del agua afecta el deterioro de los alimentos:

- Crecimiento microbiano: los microorganismos tienen diferentes rangos específicos de actividad del agua en los que pueden crecer, por ejemplo las bacterias patógenas necesitan una A_w superior a 0,90, mientras que las levaduras y mohos pueden crecer en niveles menores, incluso por debajo de 0,70; de manera que, si la actividad de agua es demasiado baja el crecimiento se detiene, y aunque esto no lleva a la muerte del microorganismo, este se mantendrá en condiciones de resistencia durante un largo tiempo (Caycedo Lozano et al., 2021).

- Inhibición del crecimiento: la disminución de la A_w tiene como efecto principal alargar la duración de la fase de latencia de crecimiento y disminuir la tasa de crecimiento de la población de microorganismos, es decir que, al reducir la actividad del agua a niveles menores de 0,60, se limita el crecimiento microbiano, lo que ayuda a conservar los alimentos. Sin A_w los microorganismos no pueden sobrevivir, ya que todas las reacciones químicas celulares requieren un entorno acuoso, por lo que todo microorganismo tiene valores límite de A_w por debajo de los cuales no puede crecer, formar esporas ni producir metabolitos tóxicos; en general, las bacterias necesitan valores de A_w más altos para crecer que los mohos y las levaduras, siendo que muchas bacterias no crecen por debajo de un valor de A_w de 0,91, mientras que los mohos se limitan a valores por debajo de 0,80, aunque el valor más bajo de A_w reportado para bacterias contaminantes de alimentos es 0,75 para bacterias halófilas, mientras que los mohos xerófilos y las levaduras osmófilas tienen valores de crecimiento de A_w de 0,65 y 0,61, respectivamente (Chirinos, 2017).
- Reacciones químicas: una alta A_w facilita las reacciones químicas que afectan la calidad del alimento; siendo que la alta actividad del agua puede aumentar la velocidad de reacciones de oxidación, especialmente en grasas y aceites, provocando rancidez, o de pueden descomponer carbohidratos y grasas por hidrólisis, con requerimiento de agua (Luna Zumbado, 2019).
- Degradación de nutrientes: la actividad del agua también afecta la estabilidad de vitaminas y otros nutrientes, además, la activación de enzimas en condiciones de alta humedad puede llevar a la degradación de compuestos esenciales, disminuyendo el valor nutricional del alimento (Robles et al., 2023).
- Textura y calidad sensorial: una actividad de agua alta puede resultar en cambios en la textura no deseados, como la blandura en panes o la

viscosidad en productos cárnicos, por lo contrario, alimentos con baja A_w suelen tener texturas crujientes, muy valoradas por los consumidores. En cuanto al sabor y aroma, las reacciones químicas impulsadas por la actividad del agua pueden traer alteraciones y afectar el perfil de sabor y aroma de los alimentos (Barrios, 2019).

2.6 Actividad de agua y almacenamiento de los alimentos

El contenido de agua en los alimentos es un factor clave para su conservación y seguridad, y la influencia de este en la perecibilidad de un producto es sabida desde hace muchos años; existen evidencias de que cada una de las culturas primitivas ideó la manera de disminuir el contenido de agua en alimentos hasta niveles seguros contra el deterioro bacteriano; sin embargo, estos métodos de preservación no fueron del todo eficaces, pues productos salados se coloreaban de rojo por presencia de bacterias halófilas, productos con altas concentraciones de azúcar eran atacados por levaduras osmofílicas, y en productos deshidratados se desarrollaban mohos xerófilos.

Es a partir de allí, cuando se relaciona la **A_w** con la estabilidad microbiológica, y se establecen los valores mínimos de esta que permiten el crecimiento de diferentes microorganismos, para así utilizar este parámetro para predecir cualitativamente los métodos de conservación y vida útil de los alimentos en almacenamiento, algunos de estos valores se muestran en la Tabla 3 (Tapia, 2020).

A partir de la determinación de A_w de un alimento, con los valores obtenidos se pueden establecer estrategias de conservación como la deshidratación o eliminación del agua mediante secado, la liofilización, la congelación, la adición de solutos, como sal o azúcar para disminuir la A_w , el envasado al vacío que reduce la humedad y la exposición al aire y las atmósferas controladas, que mantienen los valores de temperatura, HR y luz adecuados al alimento (Cardona, 2019).

La actividad de agua tiene un impacto en la vida útil del alimento pues determina el agua disponible para el crecimiento de microorganismos y la actividad química y enzimática durante el almacenamiento del alimento, pues cuanto menor sea la A_w , mayor será la conservación y vida útil del mismo, es decir que, controlar la A_w o cantidad de agua disponible de un alimento es esencial para mantener la calidad y seguridad de los mismos durante su almacenamiento, además, los empaque también influyen significativamente en la conservación del contenido de agua y la actividad de agua, de allí que, envases herméticos pueden ayudar a prevenir la absorción de humedad del ambiente, mientras que el uso de materiales que permiten la transpiración puede ser beneficioso para ciertos productos frescos (Tapia, 2020).

Tabla 3. Actividad del agua y deterioro microbiano de los alimentos

Intervalo de A_w	Alimento	Microorganismos
0.95 – 0.99	Alimentos frescos, fruta enlatada, vegetales, carne, pescado, leche.	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , algunas levaduras.
0.91 – 0.95	Quesos frescos, carnes curadas.	<i>Salmonella</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Vibrio Parahemolyticus</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , algunos hongos y levaduras (<i>Rhodotorula</i> , <i>Pichia</i>).

0.87 – 0.91	Fiambres, quesos margarinas.	bizcochos, curados,	Mayoría de levaduras: <i>Torulopsis</i> , <i>Candida</i> , <i>Hansenula</i> . <i>Micrococcus</i> .
0.80 – 0.87	Zumos de fruta, concentrados, condensada, siropes.	leche	Mayoría de los hongos <i>Penicilium</i> . <i>Staphylococcus aureus</i> . Levaduras: <i>Saccharomyces</i> , <i>Debaryomices</i> .
0.75 – 0.80	Confituras y mermeladas.		Bacterias halófilas. Mayoría de los hongos <i>Aspergillus</i> .
0.65 – 0.75	Gelatinas, melazas, azúcar de caña no procesado, algunas frutas desecadas, nueces.		Hongos xerófilos. <i>Saccharomyces bisoporus</i> .
0.60 – 0.65	Frutas desecadas (15-20% de humedad), caramelos, miel.		Levaduras osmófilas: <i>Saccharomyces rouxii</i> . Algunos hongos: <i>Aspergillus echiulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i> .

Fuente: Cardona, (2019).

La actividad del agua es un determinante clave en el deterioro de los alimentos, afectando tanto su seguridad microbiológica como su calidad sensorial, de manera que, comprender su influencia permite implementar estrategias efectivas para conservar los alimentos y garantizar su frescura y seguridad.

La comprensión del contenido de agua en los alimentos, la actividad de agua y las prácticas de almacenamiento es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y la calidad de los productos, pues el agua es un componente esencial

en la mayoría de los alimentos, no solo porque influye en su textura y sabor, sino también porque afecta su estabilidad microbiológica y química, ya que, la cantidad de agua presente en un alimento determina en gran medida su vida útil y su susceptibilidad a la contaminación por microorganismos.

La actividad de agua no debe confundirse con el contenido total de agua, ya que un alimento puede tener un alto contenido de agua, pero una baja actividad de agua si está unido químicamente o físicamente, pues se refiere esa la disponibilidad del agua en un alimento para participar en reacciones químicas y biológicas. Esto es crucial en el contexto de la conservación de alimentos; por ejemplo, los alimentos deshidratados tienen una baja A_w , lo que inhibe el crecimiento de bacterias, levaduras y mohos, prolongando así su vida útil; por otro lado, los alimentos con alta actividad de agua son más propensos a deteriorarse rápidamente si no se almacenan adecuadamente.

De allí que, es importante señalar que el almacenamiento adecuado de los alimentos es un aspecto clave para mantener su calidad y seguridad y factores como la temperatura, la humedad y la exposición al aire juegan un papel importante en cómo se preservan los alimentos. Por ejemplo, los productos perecederos como frutas, verduras y productos lácteos requieren refrigeración para mantener su A_w bajo control y prevenir el crecimiento microbiano; en contraste, los alimentos secos o enlatados pueden almacenarse a temperatura ambiente durante períodos prolongados, siempre que se mantengan en condiciones adecuadas. Además, el empaque también influye significativamente en la conservación del contenido de agua y la actividad de agua.

Entonces, el manejo adecuado del contenido de agua y la actividad de agua en los alimentos es esencial para minimizar el desperdicio, maximizar la frescura y garantizar la seguridad alimentaria y la relación entre el contenido de agua, la actividad de agua y el almacenamiento de alimentos es compleja pero crítica. Una adecuada gestión de estos factores no solo mejora la calidad sensorial de los alimentos, sino que también es fundamental para prevenir enfermedades transmitidas por alimentos y reducir el desperdicio. La educación sobre estos

aspectos es vital para consumidores y profesionales de la industria alimentaria, contribuyendo así a una alimentación más segura y sostenible.

En conclusión, la actividad de agua (aw) en los alimentos es un concepto fundamental en la química alimentaria que influye en diversas propiedades de los alimentos, incluyendo su estabilidad, seguridad y calidad. A lo largo de este capítulo, hemos explorado cómo la actividad de agua afecta el crecimiento microbiano, las reacciones químicas y enzimáticas, así como la textura y el sabor de los alimentos.

La actividad de agua es una medida crítica para la conservación y almacenamiento de alimentos. Al comprender y controlar la actividad de agua, los científicos y tecnólogos de alimentos pueden diseñar procesos y técnicas que prolonguen la vida útil de los productos alimenticios y mejoren su seguridad al inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y de deterioro.

Además, la actividad de agua desempeña un papel crucial en la formulación y desarrollo de nuevos productos alimentarios. Manipulando los niveles de aw, es posible modificar la textura y la estabilidad de los alimentos, creando productos con características sensoriales y funcionales deseables. Este conocimiento también permite la innovación en la producción de alimentos deshidratados, liofilizados y empaquetados, que requieren un control preciso de la actividad de agua para mantener su calidad.

La comprensión de la actividad de agua también tiene implicaciones en la nutrición y la salud pública. Mantener niveles adecuados de aw en los alimentos no solo preserva su valor nutritivo, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria global al reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por los alimentos y el desperdicio alimentario.

En resumen, la actividad de agua es un parámetro esencial en la ciencia de los alimentos que afecta todas las etapas de la cadena alimentaria, desde la producción hasta el consumo. La continua investigación y aplicación de los principios relacionados con la actividad de agua permitirán avanzar en la calidad,

seguridad y sostenibilidad de los alimentos que consumimos, asegurando un futuro más saludable y seguro para todos.

CAPÍTULO 3. AMINOÁCIDOS, PROTEÍNAS, CARBOHIDRATOS Y LÍPIDOS

3.1 Introducción

El cuerpo humano, está constituido por diferentes estructuras que permiten su desarrollo, crecimiento, funcionamiento y otras actividades metabólicas indispensables para que la vida ocurra, una de las estructuras más pequeñas que constituyen el cuerpo humano es la célula, en ella se llevan a cabo diferentes procesos que requieren de otros actores para que puedan ocurrir diferentes reacciones metabólicas del cuerpo, todas estas estructuras en perfecto equilibrio permiten que todos los seres vivos cumplan con las funciones para las cuales se desarrollan (Tresguerres et al., 2009).

Los aminoácidos, proteínas, carbohidratos y los lípidos, forman parte de una adecuada alimentación, además de que aportan nutrientes necesarios para el organismo, permiten una proporcionada composición corporal, lo cual, contribuye a que el ser humano, pueda llevar a cabo actividades físicas, mentales y además minimiza el riesgo de enfermedades y discapacidades. Para tener un equilibrio en la dieta, se deben incluir todos los grupos alimenticios en cantidades recomendadas y que cumplan con los requisitos calóricos diarios que requiere una persona para llevar a cabo todas las actividades cotidianas, en este sentido, se deben incluir, los carbohidratos, que se incluyen en todo tipo de verduras, cereales y frutas, lípidos, que se encuentran en productos lácteos, aceites y grasas de frutos secos, las proteínas, que se obtienen de las carnes, frutos secos, leguminosas, entre otras fuentes, la razón de que la dieta deba tener un equilibrio, se debe a que por exceso, pueden causar enfermedades como por ejemplo, obesidad, cuando se excede el contenido de vitaminas y minerales, se puede causar toxicidad y cuando existe un déficit de nutrientes, se puede causar desnutrición.

Parte de estas estructuras, son los aminoácidos, los cuales, son parte del bloque estructural de las proteínas, entendiendo que existen más de 200

aminoácidos naturales, que han sido caracterizados y se pueden encontrar en diferentes organismos vivos, desde las plantas y los animales, hasta incluso en los microorganismos. A pesar de la cantidad tan importante de aminoácidos caracterizados, solo veinte (20) de ellos intervienen en la síntesis de las proteínas, lo cual, les da gran valor a estas estructura, entendiendo que los seres vivos requieren de las proteínas, no solo para la alimentación, sino también porque forma parte importante del cuerpo, ya que los músculos están compuestos de ellas (Montes Grajales et al., 2017).

Por otra parte, se tienen las proteínas, como se mencionó en el párrafo anterior, forman parte importante del cuerpo de los seres vivos, entendiendo que constituyen la mayor parte de los músculos, además de ser vital en la nutrición de los seres humanos, en países en vías de desarrollo, el consumo de proteínas es bajo, por lo cual, existen problemas de desarrollo, no solo desde el punto de vista del tamaño de los individuos, sino también, desde el punto de vista del desarrollo cognitivo, el desarrollo neuronal, entre otros, fenómenos biológicos responsables del desarrollo del cuerpo, por ello, es importante una ingesta adecuada y equilibrada de proteínas para mejorar el desarrollo, entendiendo que una dieta basada solo en proteínas, puede traer problemas en órganos como el hígado y otras enfermedades (Badui, 2020).

Seguidamente se tienen los hidratos de carbono, o carbohidratos, estos son de origen vegetal, entendiendo que se pueden encontrar en cereales, tubérculos, frutas y legumbres, su principal función es aportar energía a las células, funcionando como combustible rápido y de fácil obtención, además de que intervienen en la formación de material genético y de algunos tejidos corporales, se pueden encontrar en dos formas, la primera, las cuales son recomendables en la dieta humana, son los carbohidratos complejos, su absorción es lenta y evita muchas enfermedades, la segunda forma de carbohidratos, se deben consumir con moderación, entendiendo que su absorción es rápida, creando picos de energía y se denominan carbohidratos simples o libres.

La importancia del consumo de hidratos de carbono, se basa en la calidad y la cantidad de lo que se consuma, si la dieta se basa en carbohidratos simples, hay riesgos de padecer enfermedades crónicas y peligrosas, como diabetes, obesidad, entre otras, en cambio si el consumo es moderado y de carbohidratos complejos, cuya absorción es en el intestino, se evitan enfermedades como el estreñimiento, entendiendo que este tipo de carbohidratos se encuentran en productos que tienen altos niveles de fibra (Sociedad Mexicana de Nutrición y Endocrinología, 2021).

Además de esto, se tienen a los lípidos, los cuales, están compuestos por carbono, hidrogeno y oxígeno, integrando cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, por otra parte, también pueden contener nitrógeno y fósforo, su importancia radica en que son la fuente más importante de energía para el cuerpo humano, entendiendo que cada gramo de lípido, aporta 9 Kcal, esto gracias a que contienen muchos más átomos de carbono que las proteínas y los carbohidratos, los cuales, aportan solo 4 Kcal cada uno, dentro de las funciones que cumplen los lípidos, se encuentran, ser parte de la estructura de las membranas celulares, son transporte de diversos nutrientes, otros son compuestos importantes como vitaminas y hormonas, otros funcionan como pigmento, además de que funcionan como aislantes térmicos, al no ser conductores del calor, los lípidos, pueden mantener estable la temperatura interna de los organismos, el origen de estos, pueden ser principalmente vegetales o animales, muy pocas frutas y hortalizas cuentan con lípidos dentro de su estructura, dentro de ellos, se pueden encontrar el aguacate, las aceitunas y algunas nueces (Badui, 2020).

En el presente capítulo, se definirán los aminoácidos, su importancia y la estructura que tienen, además de establecer la clasificación de los mismos y de que depende dicha clasificación, así como también sus propiedades físicas y químicas. Aunado a esto, se dará a conocer la definición de las proteínas, como están compuestas estructuralmente, los tipos de proteínas y sus propiedades físico-químicas.

Finalmente, se desarrollarán los lípidos, iniciando con la definición de los mismos, la estructura que manejan y la clasificación, dando a conocer la definición

de los aceites y las grasas y su composición química, además de la definición y composición de los ácidos grasos, seguido de la definición, composición y propiedades físico – químicas de los triglicéridos, por último, se dará a conocer las principales reacciones químicas que se presentan en los lípidos.

3.2 Aminoácidos

3.2.1 Definición.

Los aminoácidos, comprenden la estructura de las proteínas, en ciertas definiciones, se dice que los aminoácidos son los responsables de la construcción de la vida, sus funciones comprenden desde intervenir en el metabolismo de la energía, hasta minimizar el estrés, evitando los efectos perjudiciales del mismo en ciertas enfermedades, la clasificación de los aminoácidos, dependerá de diferentes factores como, por ejemplo, la afinidad que tenga el aminoácido con el agua, la polaridad, el pH, la carga del eléctrica, por la síntesis que tenga el mismo en la célula, el giro en el plano de la luz polarizada, entre otros factores.

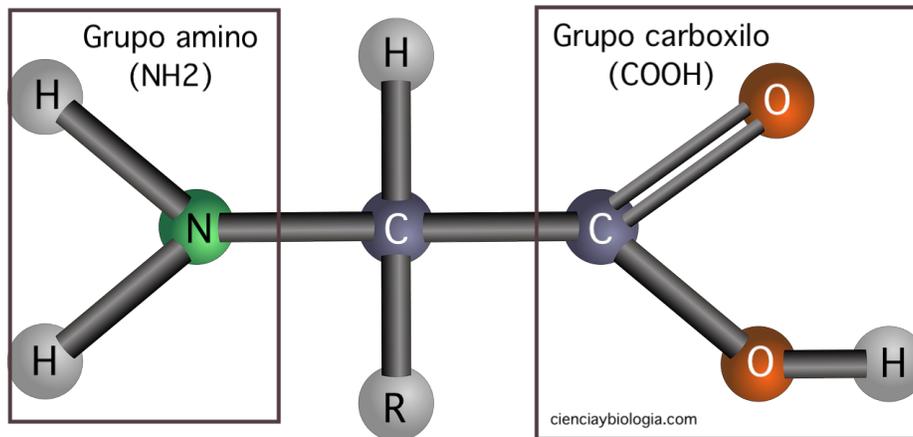


Figura 11. Estructura de un aminoácido

Nota: Tomado de: <https://cienciaybiologia.com>

Sin embargo, la clasificación más relevante para definir a los aminoácidos, se basa en la esencialidad de los mismos, siendo esta clasificación, la siguiente: aminoácidos, esenciales conocidos también como indispensables y los aminoácidos no esenciales, conocidos como no indispensables. Entre los esenciales son nueve (9) y se conocen con los siguientes nombres, **isoleucina, histidina, leucina, metionina, fenilalanina, lisina, treonina, valina y triptófano**, este grupo de aminoácidos, está constituido por elementos carbonados, que deben ser administrados por la dieta, entendiéndose que el cuerpo humano y no puede sintetizarlos a partir de moléculas simples. En cuanto a los no esenciales, se tienen, **alanina, asparagina, ácido aspártico, citrulina, cisteína, cistina, ácido gama – aminobutírico, ornitina, prolina, tirosina, serina, taurina, arginina, ácido glutámico, glutamina y glicina**, se denominan no esenciales, porque esos pueden sintetizarse (Morales et al., 2017).

Químicamente, los aminoácidos, están compuestos por dos estructuras básicas, la primera, es el grupo amino que se ubica a un extremo y se identifica con la siguiente nomenclatura NH_2 , y el otro extremo, encontramos al grupo perteneciente al ácido carboxílico (Ver Figura 11), cuya estructura es la siguiente COOH , en el párrafo anterior, se mencionaron algunas funciones de los aminoácidos, pero además de esas, se pueden mencionar, la biosíntesis de algunos compuestos, como por ejemplo, la urea, la pirimidina, las porfirinas y las purinas, por otra parte, se tienen que participan en la transmisión nerviosa. Los péptidos, que son polímeros cortos de aminoácidos, realizan funciones muy importantes en el sistema neuroendocrino, como liberar hormonas, bien sea neurotransmisoras o neuromodulares (Ospina González, 2023).

La importancia de los aminoácidos, radica en el hecho de que el organismo es capaz de producir las proteínas necesarias para su desarrollo, sin embargo, cuando falta un aminoácido esencial, la síntesis de proteínas no se realizará adecuadamente, por lo cual, puede ocurrir una deficiencia dentro del organismo,

llegando a transformarse en problemas graves para la salud, como, por ejemplo, fallas en el crecimiento, problemas digestivos, depresión, de allí, la necesidad de que se lleve a cabo una dieta equilibrada, siempre y cuando el organismo no cuente con otras fallas, o existan factores externos que limiten la absorción de los nutrientes, entre las cuales se pueden mencionar, el consumo de drogas, edad del paciente, desequilibrio de otros nutrientes, entre otros factores que pueden causar deficiencia de aminoácidos, esto no implica que se deba consumir en exceso proteínas, debido a que esto causaría otros daños importantes en el hígado y los riñones, la solución es evaluar la dieta con las características del organismo para un equilibrio adecuado (Micocci, 2018).

3.2.2 Estructura.

Un aminoácido, está conformado estructuralmente por moléculas de bajo peso molecular, entre las que se tienen, el Azufre (S), el Carbono (C), el Hidrogeno (H), el Oxígeno (O) y el Nitrógeno (N), y las estructuras que forman parte de la proteínas son α – aminoácidos conocidos como el grupo amino (NH_2) y el grupo Carboxilo (COOH), los cuales, se encuentran unidos al carbono central, además de esto, tienen grupos que van a definir las características físico – químicas del aminoácido y se denominan, cadenas radicales o laterales (R), de allí, el aminoácido podrá ser, polar o apolar, hidrófilo o hidrófobo, ácido o básico.

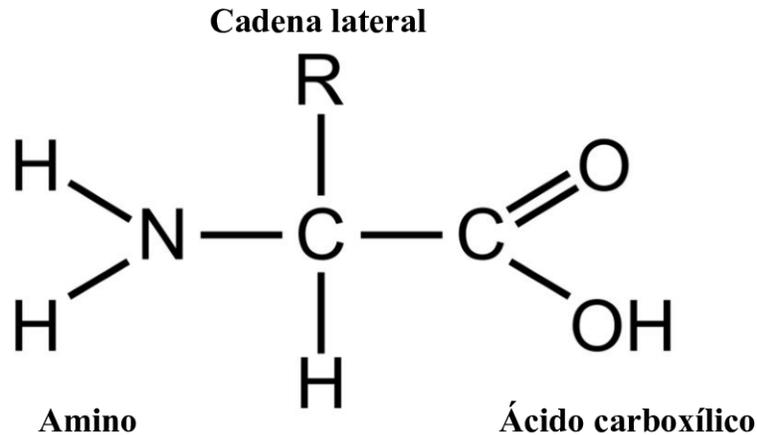


Figura 12. Estructura de un aminoácido.

Nota: Tomado de: <https://cienciaybiologia.com>

Por otra parte, la R puede ser una compleja cadena carbonada con grupos funcionales o solamente un enlace de hidrogeno. Cuando el pH del aminoácido es básico este se encuentra desprotonado, es decir, en forma de anión, en cambio cuando es ácido, el aminoácido se encuentra protonado, es decir, se encuentra en forma de catión, por otra parte, cuando el aminoácido tiene el pH igual al punto isoeléctrico, ocurre que se desprotona el grupo carboxilo, generándose el anión carboxilo (-COO⁻), en cuanto al grupo amino, este se protona (-NH₃⁺), dando origen al catión amonio, este fenómeno se conoce como zwitterion, donde hay una carga dipolar neutra (Cardona Serrate, 2020).

3.2.3 Clasificación

Los aminoácidos se pueden clasificar según la carga o polaridad que tenga su cadena radical (R) o de acuerdo a la estructura de la misma, encontrándose que, de acuerdo a la polaridad o carga, se tienen los siguientes:

- De polaridad neutra, conocidos también como hidrófilos, en este grupo se encuentran los siguientes aminoácidos, **Treonina, Glutamina, Serina, Tirosina, Cisteína, Asparagina y la Glicina.**

- En los neutro no polares o llamados hidrófobos, encontramos a la **Alanina, Valina, Leucina, Metionina, Prolina, Triptófano, Fenilalanina y la Isoleucina**, el otro grupo, son los de carga negativa o ácidos, donde se encuentran el Ácido aspártico y el ácido glutámico, en los de carga positiva o básico, encontramos a la **Histidina, Lisina y la Arginina**.
- En relación a la estructura de la cadena radical (R), se encuentran los aromáticos, como la **fenilalanina, la tirosina y el triptófano**, donde la R, contiene anillos aromáticos, los alifáticos, como la **glicina, valina, leucina, alanina y la isoleucina**, cuya estructura es de hidrocarburo lineales, las aminas secundarias, donde se encuentra la prolina, y la estructura está compuesta por un anillo, formado por la N del grupo amino y el carbono, luego se tienen los azufrados, como la **cisteína y la metionina**, que son compuestos azufrados ubicados en la R, por último, los hidroxilados, como la **serina y la treonina**, donde la R contiene un grupo alcohol (Cardona Serrate, 2020).

3.2.4 Propiedades físicas y químicas

Las propiedades físico – químicas de los aminoácidos son variadas y por lo general dependen de las características de la cadena lateral (R), se conoce que los aminoácidos están compuestos por tres grupos químicos, los dos primeros son el grupo amino, (NH₂) y el grupo carboxilo (COOH), y la cadena lateral, que difiere en cada aminoácido, por ejemplo, si la cadena lateral contiene grupos alquilo, puede ser una **valina, leucina, alanina**, entre otras, en cambio sí tiene alcohol, puede ser una **serina o una treonina**, es decir, cada grupo va a dar especificaciones físico – químicas al aminoácido y a su vez, modulan la estructura de las proteínas, entre las que se pueden mencionar, la interacciones de van der Waals, los puentes salinos y los enlaces de hidrógeno, en este sentido, a continuación se explican algunas interacciones de la cadena lateral y las reacciones físico – químicas de la misma: (Montes Grajales et al., 2017).

- Puente de hidrógeno: estos enlaces, se forman cuando se tiene un átomo electronegativo y otro átomo de hidrogeno que se une a un segundo átomo, relativamente electronegativo, puede ser de Oxígeno o Nitrógeno, entre el átomo receptor y el hidrógeno, existe una distancia aproximada de 0,27nm para un par oxígeno-hidrógeno, estos enlaces, participan en la formación de estructuras secundarias, por otra parte, se ha encontrado evidencia que los enlaces de hidrógeno débil, pueden llegar a ser esenciales para realizar contacto entre los residuos.
- Puente salino: al tener dos átomos completamente cargados, se forma el puente salino, en este sentido, si se tienen dos aminoácidos de cargas opuestas y con una distancia menor a 4Å, que es lo que ocurre entre el grupo carboxilo del carbono γ del glutamato y el grupo amino del carbono ϵ de la lisina, en este sentido, el ácido aspártico, el ácido glutámico, la histidina y la lisina pueden funcionar tanto de receptores como donadores de puentes salinos.
- Interacciones de Van der Waals: relacionadas a las fuerzas de atracción más débiles que los enlaces que resultan al transferir o compartir electrones, en las proteínas, que son macromoléculas, los átomos se pueden encontrar empaçados unos contra otros, teniendo una distancia entre ellos menor a 7Å, con esta separación, es posible inducir la formación de dipolos alrededor de los núcleos, gracias a la distribución de los electrones, ambos dipolos opuestos, interactúan electrostáticamente y el resultado es una atracción entre ellos, de esta misma manera se pueden encontrar interacciones de repulsión pero son menos significativas.

- Interacciones hidrofóbicas: estas ocurren entre cadenas no polares de los aminoácidos, se producen por el efecto indirecto que resulta de la interacción con un disolvente acuoso, en aminoácidos con regiones no polares, la estructura busca evitar el contacto con el agua, aislando así las cadenas laterales.
- Enlaces de disulfuro: estos puentes, son los que enlazan los residuos de cisteína en la cadena polipeptídica, la distancia a la que se encuentran es de 2,8Å, contribuyendo así a la estabilidad y a que unas proteínas cumplan su función, por otro lado, se conservan a través de la evolución de la especie, debido a que la cisteína son el segundo grupo de aminoácidos, luego del triptófano, más conservado, porque comúnmente es aceptado ya que los enlaces de disulfuro, también se conservan en las proteínas, la función de estos enlaces, van desde estructurales hasta catalíticas, donde la función estructural, permite estabilizar la proteína y la función catalítica, permite reacciones de intercambio tiol, en las proteínas del sustrato.

Existen otras propiedades físico química dentro de los aminoácidos y estas tienen que ver con el pH de los aminoácidos, ya que presentan características que están fundamentadas en la naturaleza iónica anfotérica ácido-base de los aminoácidos, el termino anfótero, en griego significa anfi, significando ambos, dando a conocer a los aminoácidos como compuestos anfóteros, sustancias anfífilas, electrolitos anfóteros. Un aminoácido, tiene una estructura iónica y esta se confirma gracias a los puntos de fusión que son relativamente elevados, mayores a los 200°C o por la capacidad de solubilizarse en el agua, la cual es mayor que en disolventes polares, estas dos características, son propiedades típicas de sustancias que son estabilizadas por fuerzas de atracción con grupos de carga opuesta, así como en los cristales de Cloruro de Sodio (NaCl)

Por otra parte, la constante dieléctrica es elevada y en momento dipolo, los valores son elevados, esto gracias a la presencia de funciones positivas y negativas en la misma molécula. Esta característica de ser anfóteros, les permite recibir y donar electrones y llegar a alcanzar un punto isoeléctrico (de ahora en adelante pI), cuando existe el mismo número de carga tanto negativas como positivas, es decir, cuando la carga neta es igual a cero, en este sentido, los aminoácidos cuentan con tres estados que depende estrictamente del pH , si el $pH < pI$ entonces el aminoácido se encuentra en su forma catiónica o protonada, si el $pH > pI$ entonces el aminoácido se encuentra en forma aniónica, cuando $pI = pH$, entonces la carga es igual a cero, por lo tanto, no existe un pH en que los anfóteros, estén ausentes de carga, además de que en estos tres estados pueden ejercer fuerzas electrostáticas (Badui, 2020).

3.3 Proteínas

3.3.1 Definición

Las proteínas son macromoléculas complejas formadas por Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N) y Azufre (S), en casos específicos, se pueden encontrar Fósforo (P), su peso molecular es alto, además de que forman dispersiones coloidales, compuestas por alfa – aminoácidos en enlace peptídico, este enlace puede llegar a contener entre 50 y 1000 aminoácidos y se arreglan en una secuencia lineal que luego se enrollan para conformar cuatro niveles estructurales. Las proteínas cumplen múltiples funciones, donde la más importante es la de constituir parte fundamental de las enzimas, las cuales son los catalizadores de las células, por ende, también participan en todas las funciones de la célula y el organismo, como, por ejemplo, la contracción muscular, transporte activo de metabolitos en las células, conducción nerviosa, percepción de los sentidos, incluyendo los impulsos eléctricos que ocurren en el cerebro por efectos del pensamiento (Micocci, 2018).

3.3.2 Estructura

Como se explicó en el apartado anterior, las proteínas son macromoléculas complejas, que se encuentran organizadas en una estructura jerárquica, por lo cual, es necesario describirla en diferentes niveles, los cuales mantienen una interrelación tan estrecha, que el mínimo cambio en una de ellas puede alterar significativamente la función de la proteína (Ver Figura 13), a continuación, se explican las estructuras y niveles organizativos de las proteínas: (Montes Grajales et al., 2017).

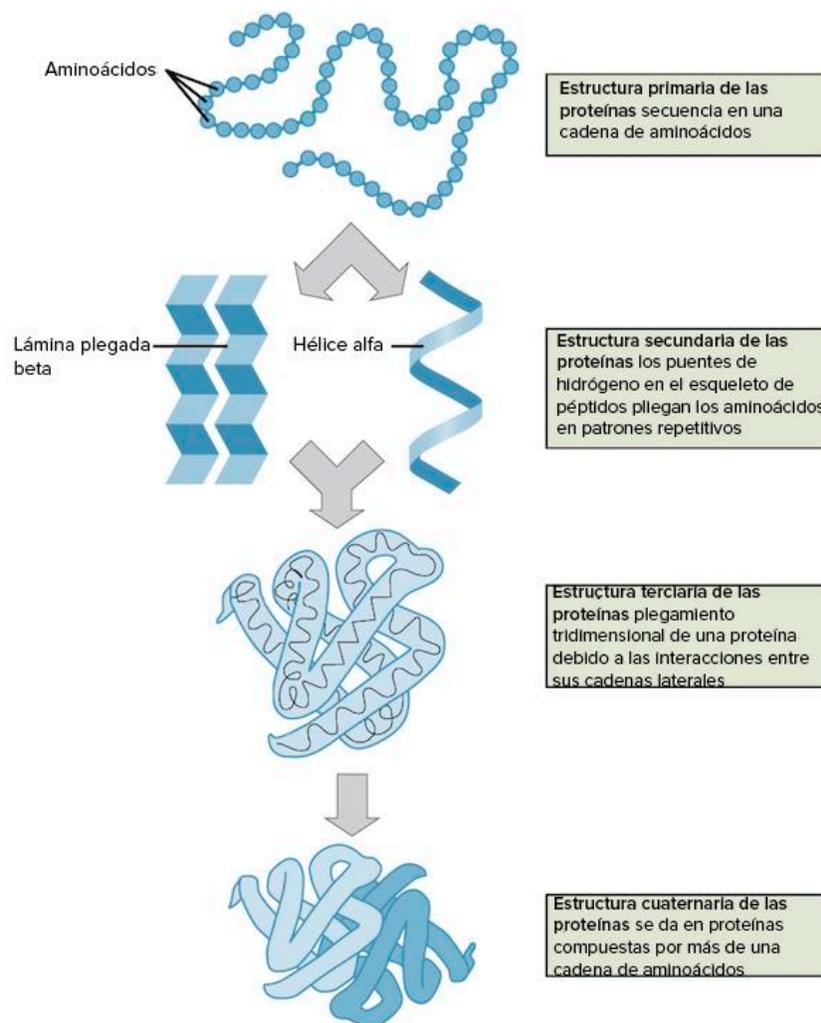


Figura 13. Estructura de una proteína

Nota: Tomado de: <https://cienciaybiologia.com>

- Estructura primaria: está constituida por una secuencia lineal de aminoácidos, donde por convención, el extremo con el grupo amino, es el que se considera como el inicio de la proteína, se conoce como N-terminal o amino-terminal, en cuanto al final de la proteína, se encuentra el grupo carboxilo, a este extremo se le conoce como C-terminal o carboxilo terminal y se representan utilizando códigos que constan de una o tres letras.
- Estructura secundaria: esta se encuentra definida de acuerdo a la disposición de los átomos que se ubican en el esqueleto de la cadena polipeptídica, es decir, por la secuencia, amino-carbono-carbonilo, en el espacio, es el resultado de todos los puentes de hidrógeno entre los átomos de hidrógeno del grupo amino y el oxígeno que se encuentra en el grupo carbonilo del otro amino, en este sentido la estructura que se forman son hélices alfa, hojas beta, espirales y giros desordenados.
- Estructura supersecundaria: cuando se ensamblan o se agregan las estructuras secundarias, estas pasan a ser estructuras supersecundarias, en proteínas con interés biológico, estas aparecen altamente conservadas, pueden denominarse motivos, el plegamiento de Rossmann es un ejemplo de esto y se conforma por dos hélices alfas que están alternadas con hojas betas en dirección paralela. La función de esta estructura, es la afinidad especial por los nucleótidos y los derivados que tienen algunas proteínas, los cuales generalmente se encuentran en sitios donde la proteína interacciona con el ADN, el ATP, el GTP, entre otros.

- Estructura terciaria: este término, se utiliza para describir el plegamiento global que es adquirido por una misma cadena polipeptídica, determinando así la forma tridimensional específica, los responsables de mantener la estructura son los puentes salinos, de hidrógeno, de disulfuro y las interacciones hidrofóbicas que se establecen entre las cadenas laterales de los aminoácidos, los cuales se encuentran distanciados en el esqueleto polipeptídico. Este tipo de estructura, resulta del comportamiento de las cadenas laterales en medios acuosos, por lo cual, los grupos hidrófobos hacen que la proteína se doble sobre sí misma, ubicando a los grupos laterales hidrófobos en el interior, mientras que los grupos hidrófilos, se ubican en el exterior, esta ubicación es necesaria para que la proteína cumpla con una función determinada.
- Estructura cuaternaria: esta estructura está formada por dos o más cadenas polipeptídicas y grupos prostéticos o los componentes no aminoacídicos, de llegar a existir, en sí, la configuración de esta estructura, se da por el arreglo formado entre varias subestructuras que no se encuentran unidas covalentemente, pero que requieren unirse para determinar la función y actividad de una proteína, las cadenas generalmente se llaman subunidades y entre las interacciones que mantiene este nivel se pueden encontrar los puentes de hidrogeno y de disulfuro.

3.3.4 Clasificación.

La clasificación de las proteínas, obedece diversos criterios, como, por ejemplo, la estructura, la composición química, la solubilidad y la sensibilidad, estas características se engloban en las siguientes clasificaciones, proteínas simples, también conocidas como holoproteínas y proteínas conjugadas o heteroproteínas. Las simples, se forman a partir de aminoácidos solamente, y pueden ser fibrosas o globulares, siendo las fibrosas, aquellas cuyas cadenas polipeptídicas son largas y su estructura secundaria es atípica, además de esto, son insolubles en agua y en disoluciones acuosas, los ejemplos de este tipo de proteínas son, las queratinas, que las encontramos en uñas, plumas, cabello, cuernos; el colágeno, que conforma los tejidos cartilaginosos y conjuntivos; las elastinas, que se encuentran en los vasos sanguíneos y en los tendones y las fibroínas, que la producen las arañas en los hilos de seda.

En relación a las proteínas simples globulares, la característica principal de las mismas es que doblan su cadena en forma esférica compacta, dejando los enlaces hidrófobos en la parte interna de la proteína y los enlaces hidrófilos en la parte externa, esto le permite ser soluble en el agua, el cual es un disolvente polar, entre los ejemplos de estas proteínas se encuentran: las gluteninas, las prolaminas, las hormonas como la insulina, prolactina, enzimas como la hidrolasas, liasas, transferasas, además de las albúminas, como la lactoalbúmina, la ovoalbúmina, entre otras (Guillén, 2009)

Por otra parte, se tienen las proteínas conjugadas o heteroproteínas, las cuales, se forman por una fracción proteínica y por un grupo no proteínico, el cual se denomina grupo prostético, el cual va a interferir en los diferentes grupos de proteínas conjugadas donde se tienen, las glucoproteínas, que son moléculas formadas por una fracción proteica y la otra fracción es glucídica, entre un 5% al 40%, se mantienen unidas por enlaces covalentes, de este grupo las principales son las mucinas de secreción como las de la saliva, en la sangre se encuentran las glucoproteínas y las de las membranas de la sangre otras glucoproteínas son las mucoproteínas, la hormona luteinizante, la ribonucleasa y los anticuerpos.

Otro grupo de las proteínas conjugadas, son las nucleoproteínas, las cuales están asociadas estructuralmente con un ácido nucleico, pudiendo ser el ADN o el ARN, entre los ejemplos de este tipo nucleoproteínas son las telomerasas, la protamina, la característica principal es que la unión que hacen con los ácidos nucleicos es estable, mientras que otras proteínas, solo forman enlaces transitorios, caso de las proteínas que intervienen en la degradación, síntesis y regulación del ADN. Las lipoproteínas, se constituyen de complejos de macromoléculas esféricas, que tienen un núcleo que contiene lípidos apolares, como triglicéridos, colesterol esterificado, la capa externa polar, está compuesta por fosfolípidos, proteínas y colesterol libre, la función de las lipoproteínas es transportar a través de la sangre, el colesterol, los triglicéridos y otros lípidos y se clasifican por la densidad entre lipoproteínas de alta, baja y muy baja densidad.

Finalmente, se tienen las cromoproteínas, el grupo prostético que poseen contiene una sustancia coloreada, por lo cual, también se les conoce como pigmentos, dependiendo del grupo prostético, pueden ser porfirínicos, como la hemoglobina, esta se encarga del transporte del oxígeno en la sangre o no porfirínicos, hemocianina, este pigmento es respiratorio, contiene cobre y se puede encontrar en moluscos y crustáceos. (Luque, M., 2009).

3.3.5 Propiedades físicas y químicas.

Como se ha mencionado en reiteradas ocasiones, las propiedades físico – químicas de las proteínas, van a depender de la cadena lateral R que estén expuestas en la estructura de la proteína, sin embargo, se pueden clasificar sus funciones en cuatro categorías, entre las que se tienen: (Cardona Serrate, 2020)

- Solubilidad: la solubilidad de las proteínas, va a depender de otros factores, como la temperatura, el pH, la salinidad del medio, entre otras, pero en general, las proteínas globulares son solubles en agua, gracias a que la cadena lateral de la superficie de la proteína, desarrollan enlaces por puentes de hidrógeno con el agua, en sí, las proteínas no forman disoluciones, sino dispersiones coloidales.

- **Desnaturalización:** esta consiste en la pérdida de la estructura nativa de la proteína, la cual es la estructura funcional y adopta una estructura completamente diferente, perdiendo así, su función biológica, lo que ocurre, es que se alteran los enlaces que estabilizan las estructuras, secundaria, terciaria y cuaternaria, esta desnaturalización puede ser reversible, si el agente desnaturalizador deja de intervenir y que la reacción no haya sido irreversible, de lo contrario, la desnaturalización no se revierte. Existen factores físicos que intervienen en la desnaturalización de las proteínas, como, por ejemplo, la temperatura, la presión, las radiaciones electromagnéticas y otros factores como el pH, algunas sustancias químicas y la concentración de sales, todos estos afectan a la proteína y pueden provocar su desnaturalización.
- **Capacidad tampón:** gracias a las características de los aminoácidos de ser anfóteros, las proteínas pueden comportarse bien sea como básicos o ácidos, lo cual, les permite captar o donar protones al medio, neutralizando las variaciones del pH.
- **Impedimentos estéricos:** gracias a la organización planar rígida del enlace peptídico, el armazón de un péptido, está conformado por una serie de planos sucesivos, a pesar de esto, el resto de los enlaces conformados por nitrógeno – carbono (N-C) y carbono – carbono (C-C), son enlaces sencillos y verdaderos, esto indica que los planes del enlace peptídico se encuentran separados por grupos de metileno sustituidos en las partes donde si puede ocurrir un giro, por otro lado, no todos los giros son posibles, imponiendo

así, restricciones importantes en cuanto al número posible de conformaciones que puede adoptar una proteína.

3.4 Carbohidratos

3.4.1 Definición

Los hidratos de carbono, son compuestos formados tal cual como lo indica su nombre, carbono, hidrógeno y oxígeno, la fórmula general de un hidrato de carbono es $C_x(H_2O)_n$, su estructura forma un polihidroxialdeido, además de esto, todos los carbohidratos presentan como grupos funcional $C = O$ o $-OH$. Los carbohidratos, conforman los compuestos orgánicos que más abundan en la naturaleza, por otra parte, son los que más consumen los seres humanos, llegando a constituir entre el 50 y 80% de la dieta poblacional, se pueden encontrar en el reino vegetal con mayor variedad y abundancia, de los que se encuentran en el reino animal.

Estos se originan gracias a la fotosíntesis y a la energía almacenada del sol, en este sentido la glucosa, que se sintetiza en las plantas es la materia prima fundamental de casi todos los carbohidratos, como, por ejemplo, la sacarosa y la fructosa, provienen de la glucosa, de hecho, los compuestos orgánicos que se pueden encontrar en plantas y animales derivan de hidratos de carbono, incluso la síntesis de proteínas, se lleva a cabo gracias a los aminoácidos provenientes de la reacción de hidratos de carbono y de varias sustancias nitrogenadas (Sociedad Mexicana de Nutrición y Endocrinología, 2021).

Por otra parte, los azúcares simples no existen en la naturaleza de manera libre, esto se pueden encontrar como polisacáridos, un ejemplo de estos, son los almidones que son una reserva energética, también se pueden encontrar como una parte de la estructura firme de algún producto, entre los que se pueden mencionar: la celulosa, las pectina, la hemicelulosa, en este caso, que constituyen reserva energética, en forma de almidón, hay un caso particular que es la fibra dietética, la cual, al entrar al intestino absorbe agua y ayuda a la eliminación y formación de heces. Dentro de los hidratos de carbono los más conocidos son la glucosa, la

fructosa, la sacarosa, el almidón y la celulosa, hay otros que también se consumen diariamente, pero se encuentran en menor cantidad. Los hidratos de carbono tienen mucha importancia gracias a sus propiedades físicas, químicas y nutricionales, hoy en día se utilizan para elaborar un gran número de alimentos (Casado Pérez, 2020).

De acuerdo con la estructura química del carbohidrato, se va a determinar la característica y funcionalidad del mismo en alimentos, estos actúan de diferente manera, unos para dar sabor, otros para dar viscosidad, otros aportan color y otros dan estructura al alimento, en este sentido los alimentos y sus propiedades, van a depender del tipo del carbohidrato que contengan y de las reacciones en que ellos intervengan, un ejemplo de esto, es la glucosa, que es un carbohidrato importante en el metabolismo de las células, debido a que su oxidación completa a dióxido de carbono y agua por medio de la glucólisis y el ciclo de Krebs genera ATP, es decir, energía y cuando los carbohidratos son reservados en animales y plantas, estos se forman o se almacenan en forma de glucógeno y almidón, que son polímeros de glucosa, donde la combustión genera 4 kcal por cada gramo, por otra parte, la porción de fibra dietética que se encuentra en los vegetales, no produce energía (Badui, S., 2020).

3.4.2 Tipos

Los hidratos de carbono o carbohidratos, se clasifican de acuerdo a la capacidad que tenga el ser humano para digerirlos en el tracto digestivo, en este sentido, se tienen que tenemos carbohidratos digeribles y carbohidratos no digeribles, a continuación, se explican cuáles son cada uno de estos tipos de carbohidratos y sus características:

- Carbohidratos digeribles: son los que se pueden hidrolizar a través de las enzimas que están presentes en las secreciones del tracto digestivo del ser humano, para luego ser transformados en otros carbohidratos más sencillos, de fácil absorción, en este grupo también se incluyen los carbohidratos que se pueden absorber, sin digestión previa, se subdivide en dos grupos los azúcares

sencillos, donde encontramos a los monosacáridos y los oligosacáridos.

Los monosacáridos que también se le denominan azúcares simples, son estructuras que forman, los disacáridos, los oligosacáridos y los polisacáridos, estos no pueden ser desdoblados en otros más sencillos y se absorben tal y como se consumen, se encuentran de manera sólida, cristalinos, incoloros, solubles en agua y de sabor dulce, el número de átomos de carbono en su esqueleto los clasifica en, triosas, tetrosas, pentosas y hexosas, las pentosas desde el punto de vista nutricional, no tienen valor relevante, pero si forman parte de estructuras, como por ejemplo, la D- xilosa forma parte de la estructura de los vegetales, la D - ribosa forma parte de los ácidos nucleicos y en los nucleótidos del citoplasma y la Desoxirribosa, forma parte en los ácidos nucleicos y de los núcleos celulares, por otro lado, se tiene la L-arabinosa, que la encontramos en frutas y en raíces.

Las hexosas se diferencian en tres grupos principales, la D-glucosa, que es la más importante y que está presente en todo el reino vegetal y en la sangre de los animales, es el más abundante de la naturaleza, su sabor es dulce y es soluble en agua, se utiliza como material energético y es utilizable por todas las células; la fructosa, como su nombre lo indica, se puede encontrar en frutas y en la miel, su sabor es mucho más dulce y el poder edulcorante es mucho mayor que el de la glucosa, su velocidad de absorción es mucho más lenta; la galactosa, se puede encontrar en los lípidos compuestos del cerebro, así como también en los vegetales, en forma de galactana, cuando se encuentra en el interior del hígado, la galactosa, se transforma en glucosa y de allí a glucógeno.

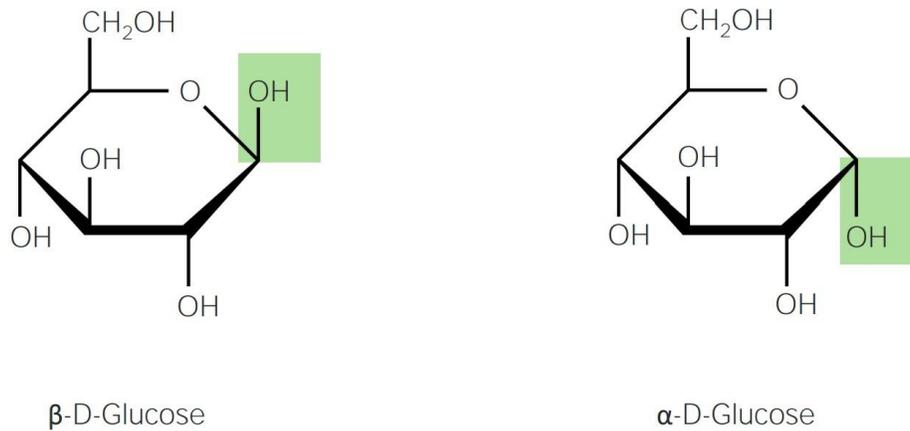


Figura 14. Estructuras de una proteína

Nota: Tomado de: <https://cienciaybiologia.com>

Los polialcoholes por sus propiedades físico-químicas, les permiten ser utilizados como aditivos, bien sea para endulzar o texturizar, los de mayor uso alimentario son, el sorbitol, que deriva de la glucosa es tan dulce como ella, se absorbe lentamente, pero de manera completa, el manitol, que deriva de la manosa, su sabor es muy dulce y al igual que el sorbitol, su absorción es lenta, de hecho es la de mayor lentitud de absorción en el tracto digestivo, por último, se tiene el xilitol, el cual se obtiene de la xilosa. La característica más importante de los polialcoholes, es que su sabor es muy dulce, aunque menor que el de la sacarosa, pero su absorción es mucho más lenta que los monosacáridos, cuando llega al hígado se transforman en glucosa aportando energía.

Los oligosacáridos están constituidos por dos o diez uniones de monosacáridos, mediante enlaces glucosídicos, en este grupo, se encuentran la sacarosa que es el disacárido más abundante de la naturaleza, es un azúcar refinado y se puede obtener de caña de azúcar, también se puede encontrar en la piña, melocotón, guisantes, mango, en productos de panadería, bebidas azucaradas, entre otros. El siguiente grupo es la lactosa, es un azúcar que se encuentra en la leche de los mamíferos, su solubilidad es la menor de todos los

azúcares comunes y está formada por una molécula de glucosa y otra de galactosa, el desdoblamiento de esta en el intestino, ocurre gracias a la lactasa, la cual, es una enzima adaptable, significa que, si un individuo no consume habitualmente lactosa, no libera la lactasa, por lo tanto, será incapaz de tolerar la lactosa, seguidamente se tiene la maltosa, la cual se obtiene gracias a la hidrólisis del almidón y es muy soluble en agua, se encuentra en alimentos como el pan y la cerveza y gracias a que es muy digerible, se puede utilizar en alimentos infantiles.

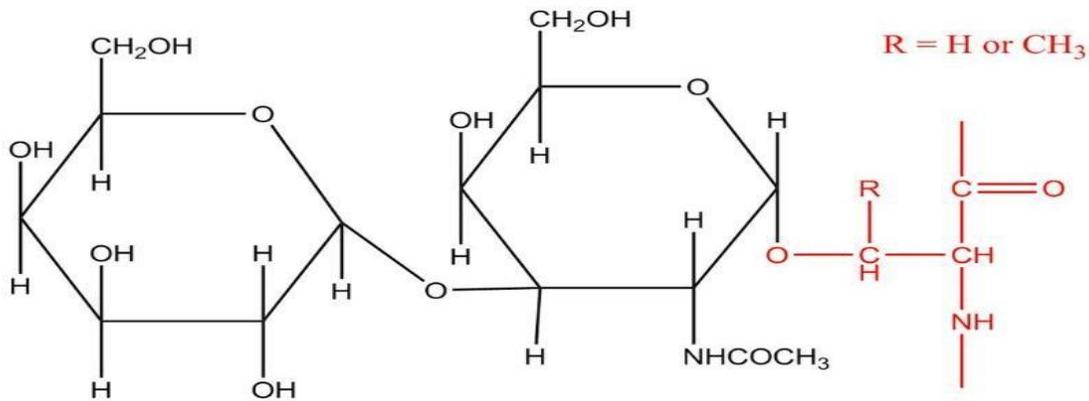


Figura 15. Estructura de un oligosacárido

Nota: Tomado de: <https://www.textoscientificos.com>

Los polisacáridos están compuestos por un número ilimitado e indefinidos de monosacáridos, para el ser humano los más importantes son, el almidón, los polisacáridos no amiláceos y el glucógeno, difieren entre ellas en la naturaleza, debido a sus unidades monoméricas repetitivas, la longitud de las cadenas, en los tipos de enlaces que forman entre las unidades y en su grado de ramificación, el almidón, que se encuentra en los tubérculos, frutas y hortalizas, es la reserva de energética y glucídica, las células vegetales son capaces de sintetizar este compuesto, sobre todo las semillas en donde abunda especialmente este compuesto, como cereales y legumbres, su hidrosolubilidad, provoca que ocupe un gran espacio dentro de la célula, está constituido por dos tipos de polisacáridos, el primero es lineal conocido como amilosa y está formado por moléculas de glucosa,

con uniones glucosídicas, α 1-4, el segundo es la amilopectina, que también está formado por moléculas de glucosa, unidas por enlaces α 1-4, la diferencia está, en que cada 20 a 25 unidades de glucosa, se encuentra una ramificación constituida por enlaces α 1-6.

El segundo compuesto más importante, de los polisacáridos es el glucógeno, este es considerado como la reserva más importante en las células animales, está formado por monómeros de glucosas, como el almidón, pero su peso molecular es mucho mayor y es más soluble en agua se encuentra con abundancia, en el hígado, pudiendo llegar a representar el 7% del peso total del órgano, la función de este en el hígado es mantener al organismo en normoglicemia, es decir, con niveles de glicemia normales, mientras que en el músculo, su función es aportar energía a las fibras musculares para que ocurra la contracción, por último, se tiene la dextrina, que es un polisacárido con menor peso molecular y se obtiene gracias a la hidrólisis del almidón (Casado, I., 2020).

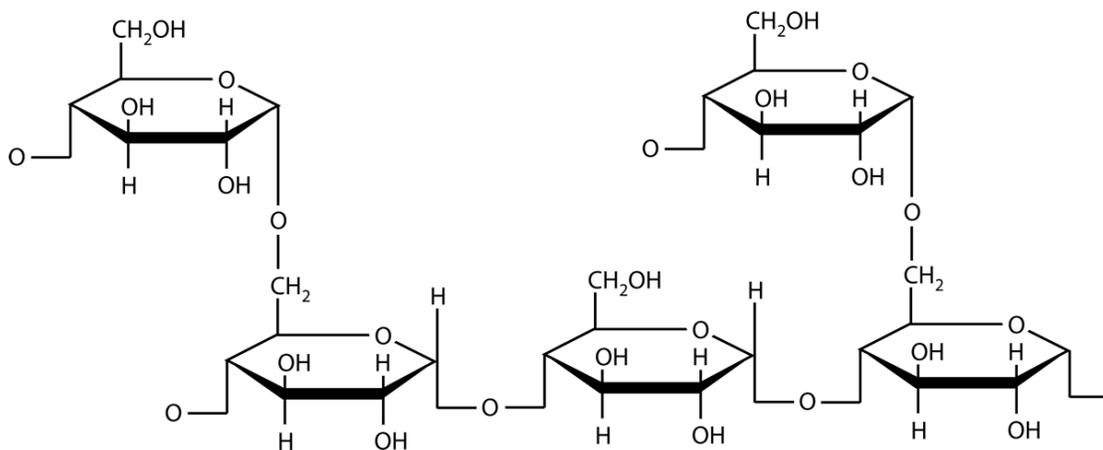


Figura 16. Estructura del glucógeno

Nota: Tomado de: <https://www.textoscientificos.com>

- Carbohidratos no digeribles: la fibra alimentaria está constituida por este tipo de carbohidratos, en este sentido, las enzimas hidrolíticas que se encuentran en el tracto digestivo del ser humano, no pueden degradar estos compuestos, ya que, los enlaces que conforman este tipo de carbohidratos, son β – glucosídicos, es necesario explicar, que el ser humano puede sintetizar una enzima capaz de degradar enlaces β , la cual es la lactasa, pero carece de enzimas para el resto de enlaces β , entre los carbohidratos no digeribles, se distinguen dos grupos, los oligosacáridos no digeribles, que son los productores de flatulencias como, la rapinosa, estaquiosa, está es la que posee moléculas galactosa y la verbascosa, los oligosacáridos que provienen de la hidrólisis de la inulina. El otro grupo, pertenece a los polisacáridos constituyentes de fibras alimentarias, se divide en dos fracciones de acuerdo a la solubilidad, en la fracción soluble, se encuentra a la pectina, mucílagos, gomas, algunas hemicelulosas y pentosanos y la fracción insoluble, está conformada por otras hemicelulosas y celulosas, que tienen estructuras muy parecidas al almidón, pero en estos abundan los enlaces glucosídicos β 1-6 (Badui, S., 2020).

3.4.3 Propiedades físicas y químicas.

Las propiedades físicas y químicas de los carbohidratos, va a depender de la clasificación de los mismos, entendiendo que cada uno cumple una función específica dentro del organismo y algunos al degradarse por acción enzimática cumplen una función u otra, sin embargo, las propiedades generales de los mismos, se pueden mencionar a continuación: (Casado, I., 2020)

- Propiedades energéticas: los carbohidratos, son la fuente de energía principal en la dieta de los seres humanos, aportando entre el 45 y 60 % de las calorías ingeridas, siendo la glucosa la principal fuente de energía, la cual, cumple con la función de mantener el

funcionamiento del tejido nerviosos y de que es indispensable para la contracción muscular. Por otra parte, evitan que el organismo utilice a las proteínas como fuente de energía, entendiendo que, de un déficit de hidratos de carbono, produce glucogénesis, es decir, el organismo empieza a producir glucosa, tomándolo de diferentes moléculas de carbohidratos, siendo las proteínas una de esas fuentes, así, logra mantener el organismo los niveles de glucemia normales.

- Propiedades plásticas: se refiere a que los hidratos de carbono, como la ribosa y la desoxirribosa, constituyen parte de tejidos fundamentales, como, por ejemplo, forman parte de los ácidos nucleicos, encargándose del almacenamiento y expresión de la información genética.
- Propiedades de reserva: una de las características de la glucosa, es que puede ser almacenada como glucógeno en el organismo, así como de ser absorbida, así como hay problemas con el déficit de carbohidratos, el exceso de ellos, se pueden transformar en grasas, pasando a ser parte del tejido adiposo, en forma de triglicéridos y el problema radica en cuando estos llegan a causar enfermedades graves como la obesidad.

3.5 Lípidos

3.5.1 Definición.

Los lípidos se pueden definir como estructuras de moléculas heterogéneas, se distribuyen ampliamente en animales y vegetales, además de tener características físicas bien definidas, como ser insolubles en agua pero solubles en solventes orgánicos, que además deben ser no polares, como el benceno, el

cloroformo y el éter, esto es el resultado de la escasa polaridad que tienen los lípidos en sus moléculas, las propiedades químicas de los lípidos son diversas y la variedad de estados de agregación es amplia, se diferencian de las proteínas y los polisacáridos por no formar estructuras poliméricas macromoleculares, lo cual hace que el peso molecular de los lípidos no sea elevado.

Su estado de agregación permite distinguir tres tipos de lípidos, en los que se encuentran los líquidos, los cuales se almacenan en los vegetales, su peso molecular es bajo y su cadena de ácidos grasos son cortas o insaturadas, por otra parte, se tienen los semilíquidos, se pueden encontrar almacenados en los animales y las cadenas de ácidos grasos son largas e insaturadas, por último, encontramos a los sólidos, los ácidos grasos son saturados y largos, se les conoce como ceras. Dentro de las funciones de los lípidos se encuentran, que son fuente y reserva de energía, además de ser aislante térmico y eléctricos, sirven de protección mecánica y contra la deshidratación, entre otras funciones (Velázquez & Ordorica, 2015).

3.5.2 Estructura.

La estructura de los lípidos, también permite clasificarlos, entendiendo que los lípidos simples, son los que están compuestos por las grasas y los aceites, que son ésteres de glicerol con ácidos monocarboxílicos, además se tienen los ésteres de ácidos grasos y alcoholes y las ceras, que son ésteres de alcoholes, monohidroxilados y ácidos grasos, los lípidos compuestos, los conforman aquellos lípidos, en los cuales, la estructura está formada por una parte lipídica y otra parte no lipídica, las cuales se unen por un enlace covalente, como los glucolípidos y los fosfolípidos, en este grupo también se incluyen las lipoproteínas, que están compuestas por lípidos y proteínas, hay autores que no las incluyen en este grupo de lípidos compuestos, gracias a los enlaces que son electrostáticos e hidrófobos. Por último, se encuentran los lípidos asociados, en este grupo se encuentran todos los lípidos que no encajan en las estructuras anteriores, ejemplo de ellos son, los carotenoides, las vitaminas liposolubles, el colesterol, los ácidos grasos libres, entre otros (Badui, S., 2020).

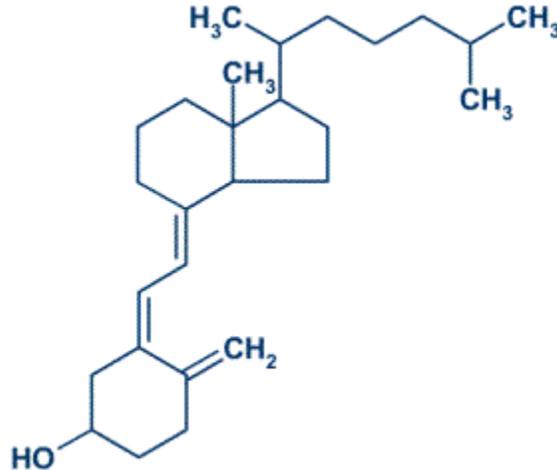


Figura 17. Estructura de los lípidos.

Nota: Tomado de: <https://www.textoscientificos.com>

3.5.3 Clasificación.

Los lípidos se clasifican en dos grupos, el primero son los saponificables, los cuales, reaccionan a los álcalis para formar jabones, este se subdivide en dos grupos, donde se encuentran, los lípidos saponificables simples, que son aquellos que están conformados por ácidos grasos y un alcohol, donde los ácidos grasos a través de enlaces éster se unen a diversos alcoholes, como el cetílico, el glicerol, entre otros, las funciones de estos lípidos simples saponificables son, aislamiento térmico, moléculas de reserva, aislamiento mecánico y de función estructural, en estos lípidos saponificables simples, se encuentran tres tipos, las ceras cuya estructura está compuesta por ésteres de ácidos grasos y alcoholes monohidroxilados que tienen un peso molecular elevado, como por ejemplo, el alcohol cetílico, el cual se puede encontrar en la cera de abejas.

El segundo tipo, son los ésteres de colesterol, su función es dar fluidez a las membranas celulares y su composición en los animales, es un ácido graso unido al colesterol, el último tipo de lípidos saponificables simples son los acilglicéridos, los cuales son ésteres de ácidos grasos con glicerol, los ácidos grasos pueden ser de una a tres moléculas y el enlace éster que lo une a la molécula de glicerol.

Por otra parte, se tienen los lípidos saponificables complejos, su estructura se compone de un ácido graso, un alcohol y una molécula polar no lipídica, además de esto son anfipáticos, se considera que su función es estructural, porque se encuentran en la membrana celular en proporciones variables, se divide en tres grupos, los glucolípidos, compuestos por, carbohidratos, esfingosina y un ácido graso, los esfingósidos, que son compuestos por ácido graso más esfingosina, otros llegan a contener otra molécula, por último se encuentran los fosfolípidos, los cuales están compuestos por un alcohol, ácido graso y residuos de ácido fosfórico. (Velázquez & Ordorica, 2015).

Por otra parte, se tienen los lípidos no saponificables, estos no contienen ácidos grasos, además no reacción con los álcalis, por lo tanto, no son capaces de formar jabones, entre ellos se encuentran, pirroles, los que, al combinarse en grupos de cuatro, forman lo tetrapirroles, que son las vitaminas B12, los pigmentos biliares y el grupo hemo, el otro grupo de lípidos no saponificables, son los isoprenoides, que se dividen en, terpenos, moléculas con dos isoprenos, forman parte de los aceites esenciales, su función es dar olor a algunos productos. Los carotenos, que incluyen las vitaminas y provitamina, contienen cuarenta unidades, en este grupo se encuentran los beta carotenos, por último están los esteroides que se forman cuando un terpeno, tienen treinta átomos de carbono, llamado escualeno, aquí se encuentran, los esteroides, que es el colesterol de 27 átomos de carbono, ácidos y sales biliares, de 24 átomos de carbono, llamado colano, las geninas, que contienen 23 átomos de carbono y las hormonas, donde se pueden mencionar a los pregnanos, se incluyen en este grupo los corticoides y gestágenos, los androstanos, donde se incorporan los andrógenos y finalmente los estranos, que es donde se encuentra el estrógeno. (Velázquez, & Ordorica, 2015)

3.6 Aceite y las grasas

3.6.1 Definición.

Los aceites y grasas, son lípidos y son los que se encuentran principalmente en los alimentos, contribuyendo en propiedades organolépticas de los mismos, además de la textura y de algunos factores nutricionales, en sí, no existe diferencia entre las grasas y los aceites, aunque se han querido distinguir porque las grasas a temperatura ambiente permanecen sólidas y los aceites son líquidos a la misma temperatura ambiente, por otro lado, otras de las distinciones que se han realizado en este grupos, es que los aceites, son de origen vegetal y las grasas son de origen animal (Badui, S., 2020).

La importancia de las grasas y los aceites en la industria alimentaria, radica en que confiere palatabilidad a los alimentos, aportando textura, mejorando la apariencia, el sabor y en algunos casos, sirven de transporte para elementos liposolubles en los alimentos, dentro de las industrias que más utilizan las grasas y los aceites se tienen, las confiterías, las panaderías, entre otras (Cabezas-Zábala et al., 2016).

Desde el punto de vista nutricional las grasas y aceites, tienen un papel importante en la alimentación humana, debido a que son fuentes de energía, además de realizar funciones estructurales y de regulación, la digestión de estos nutrientes es compleja, entendiéndose que para que ocurra, debe participar diferentes lipasas y sustancias emulsionantes que se encuentran en la bilis, en cuanto a la absorción, esta se lleva a cabo mediante la difusión pasiva micelar, que es facilitada por proteínas de la membrana apical del enterocito, en cuanto al transporte de estas sustancia, estas se llevan a cabo gracias a diferentes lipoproteínas plasmáticas.

3.7 Ácidos grasos.

3.7.1 Definición.

Cuando los lípidos son hidrolizados, los ácidos que se liberan son los ácidos grasos, estos están formado en su mayoría por ésteres, sin embargo, también es posible encontrarlos como ácidos grasos no esterificados en la sangre, en cuyo caso para ser transportados, deben unirse con moléculas de proteínas, sobre todo en albúmina, por otra parte, los ácidos grasos, son ácidos carboxílicos alifáticos, esto indica que todos ellos, tienen un grupo ácido que pertenece al grupo carboxilo –COOH, donde la cadena tiene un número par de carbonos, además de esto, todos los ácidos grasos son lineales, con ramificaciones en los extremos donde se encuentran grupos alcohol –OH o grupos metilo –CH₃ (Cabezas-Zábala et al., 2016).

La producción industrial de ácidos grasos, se puede realizar a partir de diferentes fuentes de grasa, uno de los usos a nivel industrial es como aditivos, los aceites como el palmítico, esteárico y el oleico, son utilizados como emulsionantes en forma de sus respectivos ésteres, por otra parte, los aceites palmítico y esteárico, contienen sales de calcio y magnesio, que se utilizan como antiaglomerante en productos vegetales deshidratados o en productos secos, debido a su capacidad para repeler el agua, evitando así, que estos productos se aglomeren en una sola masa (Badui, S., 2020).

3.7.2 Composición.

La composición de los ácidos grasos varía de acuerdo a la estructura, teniendo entonces, ácidos grasos saturados, donde predominan las grasas cuyo esqueleto es lineal y número par de carbonos, son parte de los triglicéridos, si tienen menos de 14 átomos de carbono, son de bajo peso molecular y se pueden encontrar en la leche de coco, en el aceite de palma. Los de mayor peso molecular con más de 18 átomos de carbono, se encuentran en las leguminosas, en relación a la composición de los ácidos grasos insaturados, están compuestos en su mayoría por lípidos que contienen, uno, dos o tres grupos alilos, con doble enlace, que se

encuentra aislado y con puentes de metileno, los cuales siempre tienen una configuración cis, la cual se encuentra biológicamente activa, se pueden clasificar de acuerdo al terminal metilo en tres familias w-3, w-6 y w-9; otra clasificación, se basa en la estructura de su molécula cis o trans, en su mayoría los ácidos grasos insaturados de la dieta tienen una conformación cis, no obstante, en la carne, la leche de rumiantes, se pueden encontrar cantidades pequeñas de ácidos grasos en forma trans, en este sentido los ácidos grasos trans, tienen un aporte importante de grasas, en los alimentos producidos a partir de la hidrogenación industrial, de aceites vegetales insaturados, las margarinas hidrogenadas, las grasas comerciales para freír, los productos horneados como las galletas con relleno de crema, donas, tortas, papas fritas, entre otras, contienen ácidos grasos trans (Cabezas-Zábala et al., 2016)

Por otra parte, se encuentra los ácidos grasos esenciales, como, por ejemplo, el ácido linoleico, que se conoce comúnmente como, Omega 6, y el α -linolénico, comúnmente conocido como, Omega 3, estos deben ser incorporados en la dieta del ser humano, porque carecen de las enzimas que les permiten sintetizarlos y son necesarios para el crecimiento, el desarrollo y mantener la buena salud. Dentro de las funciones que cumplen los ácidos grasos esenciales, están, ser reguladores metabólicos en el sistema cardiovascular, el sistema inmune, el sistema pulmonar, el secretor y reproductor, además de que son imprescindibles, para preservar la funcionalidad de las membranas celulares y la participan en la transcripción genética. El organismo, es capaz de convertir el ácido α -linolénico, en ácidos de cadena larga conocidos como EPA o ácido ecosapentanoico y en menor medida, en ácido docosahexanoico, esta es limitada, por ese motivo, las grasas de omega 3 de cadena larga, se recomienda que se obtengan de alimentos ricos en ellas como los pescados grasos de agua profunda, un ejemplo de ello sería el salmón (Cabezas-Zábala et al., 2016).

3.8 Triglicéridos

3.8.1 Definición.

Son compuestos formados por ácidos grasos, los cuales, cumplen diferentes funciones dentro del organismo, como, por ejemplo, la generación de energía, ayudan con la inmunidad y la coagulación sanguínea e intervienen en el desarrollo celular, su nombre deriva de su estructura, entendiendo que, son moléculas de glicerol con tres moléculas de ácidos grasos, para que se forme una molécula de triglicérido, deben ocurrir varias reacciones, la primera es que el hígado la sintetice y la segunda es que se ingiera en ciertos alimentos como por ejemplo, la carne, consumo de aceites y grasas, estas son absorbidas por el intestino y se transforman en grasas y proteínas que se denominan quilomicrones, que es una lipoproteína, productos lácteos entre otros alimentos que contienen triglicéridos.

De igual manera que las otras grasas, los triglicéridos, en medios acuosos, son insolubles, por lo cual, requieren ser transportados en el plasma por las lipoproteínas, las moléculas de triglicéridos, son enviados al torrente sanguíneo para ser utilizados como fuente de energía, esta se utiliza de manera inmediata por el organismo o bien se almacena para ser utilizada cuando sea requerida, en este caso, el hígado. Cuando el organismo requiere de energía almacenada, la libera en forma de triglicéridos y colesterol VLDL y los envía a los tejidos, el problema radica, en el exceso de triglicéridos en el torrente sanguíneo, entendiendo que pueden afectar las arterias, alterando el funcionamiento, evitando que el flujo de sangre sea normal causando problemas cardíacos o accidentes cerebrovasculares, además de que niveles elevados, también pueden afectar el funcionamiento del páncreas (Ibarretxe & Masana, 2021).

3.8.2 Composición.

El 95% del tejido adiposo de los mamíferos, está constituido por los triglicéridos, entendiendo que son los más abundantes de la naturaleza, la composición del triglicérido, va a depender de los ácidos que lo constituyen, por tal sentido, son triglicéridos simples si contienen uno en su estructura y mixtos cuando

poseen dos o tres ácidos, la triestearina, la trioleína y la tripalmitina, son ejemplos de triglicéridos simples, y tiene los siguientes ácidos grasos, ácido esteárico, ácido oleico y ácido palmítico. En relación a los triglicéridos mixtos, estos como se mencionó anteriormente, están constituidos por tres ácidos grasos y se deben nombrar consecutivamente, en este sentido, si se tiene un triglicérido con, ácido linoleico, ácido esteárico y ácido palmíticos, cuyas posiciones son 1, 2 y 3, se le nombra de la siguiente manera, 1-linolil-2estearil-3palmitina, si en lugar de tener tres ácidos diferentes, tiene dos iguales y uno de ellos difieren se coloca el prefijo “di” o se pueden enumerar las posiciones donde se encuentran estos ácidos, por ejemplo, si son dos ácidos palmítico, sería, 2-palmitil o β -palmitil- α , o bien, α -diestearina o diestearopalmitina (Badui, S., 2020)

3.8.3 Propiedades físicas y químicas.

Las propiedades físicas y químicas de los triglicéridos, dependerán de las características de los ácidos grasos que constituyan la cadena, además de la concentración y la forma en que se distribuyen, por ejemplo, el punto de fusión de cada fracción del triglicérido es diferente, porque cada ácido graso, tiene una temperatura de fusión específica, esto permite realizar fraccionamientos a temperaturas controladas (Badui, S., 2020).

3.8.4 Principales reacciones químicas que ocurren en los lípidos.

El origen de las grasas y los aceites son animales y vegetales, donde por parte de los vegetales, es la soya quien se posiciona como la principal fuente de materia prima de este tipo de productos, el otro vegetal que se posiciona como proveedor de aceites y grasas, son la palma y la canola y en menores escalas de producción de aceites y grasas de origen vegetal se encuentran, el coco, la aceituna, el algodón, el maní, el maíz, entre otros. En cuanto a la producción de aceites y grasas de origen animal, la grasa de cerdo es la que se ubica en el primer lugar, seguida del cebo de res y el de pescado. Ambas fuentes de materia prima, al ser extraídas traen consigo una cantidad de elementos que pueden perjudicar las

características y la estabilidad del lípido, por lo cual, debe ser procesado para eliminar estas impurezas o productos dañinos para el aceite o la grasa, utilizando métodos que producen reacciones químicas dentro de la estructura del lípido, por otra parte, también se encuentran productos beneficiosos dentro de estos aceites y los cuales deben recuperarse en el proceso de refinación, a continuación se muestran algunos de los procesos que ocurren dentro de los lípidos:

- **Desgomado:** como se mencionó anteriormente, las grasas y los aceites cuando se realiza la extracción primaria, tienen muchos productos que no son necesarios para la comercialización, entendiendo que, si se dejan, estos son sensibles a la oxidación y además que causan espuma en el producto terminado, entre estos productos innecesarios en el aceite, se tienen agua, proteínas, fosfátidos, hidratos de carbono, los cuales son compuestos hidrosolubles y se separan al tener una fase inmiscible con el aceite, es necesario tener en cuenta que no todos los aceites requieren de este proceso, para llevar a cabo este proceso, lo que se requiere es añadir agua caliente entre unos 50 a 60 °C, en una porción de 2-3% en relación al volumen del aceite y luego se centrifuga, lo que ocurre es que los fosfátidos se hidratan, esponjándose y precipitándose, el producto que resulta se le conoce como lecitina, aunque la porción de la misma sea muy baja (Cubides, J. & Mallama, R., 2017).
- **Neutralización:** en el desgomado, quedan fosfolípidos residuales, ácidos grasos libres y monoacilglicéridos, si la cantidad de ácidos grasos libres es muy elevada, el rendimiento en la refinación será mucho menor, es decir, son inversamente proporcionales, por lo cual, se requiere de una neutralización de los aceites y esta se lleva a cabo con NaOH con una concentración de 10-15%, este proceso es una saponificación, y la cantidad de hidróxido de sodio, debe

ser precisa, es solo para que reaccionen con los ácidos grasos libres, los cuales, se debe tener en cuenta la concentración inicial, de lo contrario se saponifican los triglicéridos, perdiendo así aceite, el proceso se puede llevar de dos maneras, continua o discontinua, esta mezcla se calienta a temperaturas de 60-70°C, para que se acelere la reacción, la mezcla jabonosa, se separa en la primera centrifugación y se utiliza en la industria de jabones y los ácidos grasos se utilizan en la industria de alimento para ganado, siempre y cuando la mezcla se neutralice con H₂SO₄, para asegurar que al aceite no le queden restos de jabón, se realiza un lavado con agua caliente y se procede a centrifugar por segunda vez (Badui, S., 2020).

- Decoloración: cuando los aceites se encuentran neutralizados, se lleva a cabo el proceso de decoloración para eliminar pigmentos como clorofila, carotenoides y xantofilas, en los procesos anteriores se extraen gran parte de estos colorantes, para llevar a cabo el proceso se utilizan agentes adsorbentes, entre los que se encuentran, arcillas neutra derivadas de la bentonita, arcillas ácidas activadas, tierra diatomeas o carbón activado, el método resulta altamente efectivo con el carbón activado, pero eleva mucho el costo además de que la merma es mayor al ser gran adsorbente del aceite, lo ideal, es que se utilicen arcillas activas, con un porcentaje mínimo de carbón activado, (5 al 10%), cuando se utilizan tierras ácidas, estas deben lavarse, debido a que provocan acidez en el aceite, dando lugar a la hidrólisis y a la liberación de ácidos grasos, para que el proceso ocurra, la mezcla de aceite con el adsorbente se calienta entre los 80 y 90°C por un espacio de tiempo de 15 a 20 minutos, con lo cual se elimina la humedad y se activa el material, esto se pasa el filtro prensa y se

obtienen dos productos, uno es el aceite y el otro es el material de decoloración, que puede regenerarse, este proceso debe llevarse a cabo en ausencia de oxígeno, es decir, al vacío, para evitar la oxidación de los lípidos y disminuir la eficiencia del proceso, cuando los aceites una vez decolorados, toman un color indeseable durante el almacenamiento, se debe a que ha ocurrido una polimerización de los ácidos grasos insaturados o una reacción oxidativa (Palacios Zambrano & Vera Vera, 2021).

- Desodorización: en los procesos anteriores se han eliminado varios de los compuestos que pueden degradar el aceite, pero, siguen quedando sustancias volátiles que provienen de la oxidación y generan olores indeseables, entre los que se tienen, las cetonas, aldehídos y dependiendo del aceite, se pueden encontrar ácidos grasos libres con cadenas de menos de 12 átomos de carbono. Para llevar a cabo el proceso de desodorización, se calienta el aceite a temperaturas realmente elevadas, 230 – 260°C y se le hace circular una corriente de vapor desaireado arrastrando los compuestos volátiles, esto ocurre gracias a la diferencia de volatilidad entre los triglicéridos y los compuestos responsables del mal olor en los aceites. Por otra parte, el proceso se debe llevar a cabo a presiones controladas, de lo contrario, se corre el riesgo de deteriorar el aceite, existen procesos en los que se añade agentes secuestrantes o antioxidantes, para eliminar la acción catalítica de los metales en la oxidación, en este proceso, no solo se eliminan las sustancias que causan olor, también es posible obtener sustancias con alto grado comercial como, tocotrienoles, tocoferoles, ácidos grasos libres, estas sustancias se recuperan utilizando varios métodos como, por ejemplo, saponificación, esterificación con un alcohol,

destilación, cristalización, extracción fraccionada o destilación (Cubides, J. & Mallama, R., 2017).

- Hibernación: este proceso, no se lleva a cabo en todos los aceites, normalmente se utilizan en los aceites de algodón y de soya, el cual consiste en una cristalización fraccionada o también conocida como fraccionamiento en seco, se lleva a cabo con la finalidad de eliminar triacilglicéridos saturados los cuales tienen un alto punto de fusión, que son los responsables del enturbiamiento del aceite cuando este se enfría, en la refrigeración, las fracciones de ácidos grasos saturados, llegan a cristalizarse, un ejemplo de esto son la ceras que se encuentran en aceites de girasol y maíz, haciendo que el aceite, tenga una apariencia indeseable cuando se encuentra a temperaturas bajas, la porción que se separa, contiene una gran cantidad de ácido esteárico, lo cual, le confiere el nombre de estearina. Existen pruebas que permiten verificar la eficiencia de la hibernación, tal es el caso de la prueba que se le realiza al aceite de soya que es destinado a la elaboración de mayonesas, para lo cual, se lleva el aceite a temperaturas bajas durante un lapso de cinco horas y medias, para evitar cristales grasos, que pueden romper la emulsión de la mayonesa durante la refrigeración, existen métodos más costosos, donde se utilizan rayos láser para identificar los cristales (Badui, S., 2020).

Cada una de las moléculas y macromoléculas estudiadas, forman parte esencial para el desarrollo de los seres vivos, cada una interfiere de manera equilibrada en el metabolismo e intervienen para que cada proceso por más pequeño que sea, pueda cumplir su función de manera adecuada. No hay uno más importante que otro, todos requieren de la presencia de cada uno para cumplir con el objetivo completo que es mantener el organismo vivo, funcional y equilibrado,

además como se pudo observar, se encuentran engranados unos con otros y para que uno exista, esencialmente debe existir el otro.

Por lo tanto, los aminoácidos, son vitales para las proteínas, las proteínas son vitales para los carbohidratos y los carbohidratos están entrelazados con los lípidos entendiéndose que ambos aportan energía a las células y al cuerpo humano, en muchas ocasiones, se ha querido desprestigiar el uso de los lípidos dentro de la dieta humana, sin embargo, es notable que el consumo de los lípidos apropiados y en las cantidades adecuadas, se mantiene un equilibrio metabólico del organismo, lo mismo ha ocurrido con los carbohidratos, es importante reconocer cuáles son los carbohidratos necesarios y las cantidades requeridas para ayuden a que las células y realicen procesos importantes gracias a la energía que aportan.

En resumen, los aminoácidos, las proteínas, los carbohidratos y los lípidos son componentes esenciales que desempeñan roles críticos en la nutrición y la salud humana. A lo largo de este capítulo, hemos examinado la importancia de cada uno de estos macronutrientes y cómo sus propiedades químicas influyen en su función dentro del cuerpo humano y en la calidad de los alimentos.

- **Aminoácidos y Proteínas**

Los aminoácidos son los bloques de construcción de las proteínas, que son fundamentales para el crecimiento, la reparación y el mantenimiento de los tejidos corporales. Las proteínas desempeñan múltiples funciones biológicas, incluyendo el transporte de moléculas, la catálisis de reacciones bioquímicas y la defensa inmunológica. La química de los aminoácidos y las proteínas nos permite comprender cómo se forman, se estructuran y funcionan estas moléculas, así como su importancia en la dieta diaria.

- **Carbohidratos**

Los carbohidratos son una fuente principal de energía para el cuerpo. Se encuentran en una variedad de alimentos, desde frutas y verduras hasta cereales y productos de panadería. La química de los carbohidratos nos ayuda a entender cómo se descomponen y se utilizan estos compuestos para proporcionar energía

rápida y sostenida. Además, la investigación sobre los carbohidratos nos permite mejorar la calidad nutricional de los alimentos procesados y desarrollar productos con índices glucémicos controlados para gestionar la salud metabólica.

- **Lípidos**

Los lípidos, que incluyen grasas y aceites, son esenciales para la producción de energía, la protección de los órganos y la absorción de vitaminas liposolubles. La química de los lípidos nos revela cómo se estructuran y se metabolizan estos compuestos, así como su papel en la formación de membranas celulares y en la señalización hormonal. El estudio de los lípidos también es crucial para abordar problemas de salud relacionados con el consumo de grasas, como las enfermedades cardiovasculares.

- **Interrelación y Balance Nutricional**

Es fundamental destacar la interrelación entre estos macronutrientes y la importancia de un equilibrio adecuado en la dieta. La química de los alimentos proporciona herramientas y conocimientos esenciales para optimizar la composición y el valor nutricional de los alimentos, promoviendo dietas equilibradas que apoyen la salud y el bienestar. Comprender cómo interactúan los aminoácidos, proteínas, carbohidratos y lípidos nos permite desarrollar estrategias nutricionales personalizadas y mejorar la calidad de vida a nivel global.

En conclusión, la química de los alimentos nos ofrece una visión profunda y detallada de los componentes clave de nuestra dieta y su impacto en la salud humana. La continua investigación y aplicación de estos conocimientos seguirá siendo esencial para avanzar en la ciencia de los alimentos y proporcionar soluciones innovadoras a los desafíos nutricionales del futuro.

CAPITULO 4. ENZIMAS

4.1 Introducción

Una de las moléculas más importantes dentro de todos los seres vivos, son las enzimas, ya que de ellas dependen todas actividades metabólicas para su funcionamiento, ayudando a acelerar reacciones además de que son específicas para trabajar sobre un sustrato determinado, lo cual, las hace esencialmente importantes para las industrias, entendiéndose que se pueden obtener diversos productos con una enzima específica. Por otro lado, las enzimas no son moléculas que se utilizan desde hace poco tiempo, de hecho hay registros que indican que hace 2000 años antes de Cristo, estas eran utilizadas para la elaboración de vinos, pan y queso, a pesar de esto, no es hasta finales del siglo diecinueve que se les denomina enzimas, en cuanto a su uso industrial, fue en el siglo veinte en que se empieza a utilizar para aumentar la digestibilidad del alimento de ganado, además de aumentar el contenido nutritivo del mismo, en el Reino Unido, se utilizó por primera vez enzimas recombinantes para la elaboración del pan en los años noventa, mientras que en Estados Unidos, se utilizaron para la elaboración de queso en esa misma época (Moral et al., 2015).

Las enzimas tienen muchas características positivas, sin embargo, el hecho de que pueda ser extraída de las células y pueda trabajar de manera tan eficiente como dentro de la célula, es la que la hace económica y factiblemente más interesante para la industria, dentro de los ejemplos más comunes del uso de enzimas en el área industrial se pueden mencionar (Rodríguez, S., 2020)

- Lactasa, la cual ha sido uno de los avances más importantes del sector de la industria láctea, entendiéndose que, al utilizar esta enzima, es posible eliminar la lactosa de la leche y captar un público intolerante a la misma.
- Pectinasa, la cual se utiliza en aprovechar al máximo el rendimiento de los zumos de fruta, obteniendo así un mayor volumen de producción.

- Papaínas y Bromelina, ambas enzimas son muy útiles en la industria cárnica para la producción de carnes más blandas.

Si bien es cierto que la industria de alimentos es una de las que puede aprovechar el uso de enzimas para la obtención de productos, no todas las enzimas se destinan a ese sector económico, de hecho, a nivel mundial, se tienen datos que la industria que utiliza mayormente las enzimas para la elaboración de productos, es la industria de productos de limpieza, con un 37%, a la cual le sigue la industria alimentaria incluyendo las bebidas, con un 31%, luego se encuentra el sector de bioenergéticas con un 17%, en cuanto al sector de alimentos para ganado esta ocupa un 15% del uso de enzimas para la producción, siendo este sector quien introdujo a sus procesos las enzimas por primera vez, no se toma la referencia de la elaboración, de pan, queso y vinos, entendiendo que estos procesos ocurrían por fermentación y en ese momento no se tenía el conocimiento de lo que ocurría dentro de la transformación de la materia prima (Moral et al., 2015).

Por otra parte, se tiene que las regiones en que más se comercializa enzimas son Europa y Norteamérica con un 36 y 35% respectivamente, mientras que Asia cuenta con un 19% y Latinoamérica solo cuenta con un 10% de la comercialización de las enzimas, además de esto, se conoce que en América Latina el uso de las enzimas en su mayoría es para la industria de alimentos, de igual manera ocurre en China, mientras que en regiones como Norteamérica y Europa, las enzimas se producen para la elaboración de biocombustibles y detergentes, siendo estas regiones las de mayor producción de contaminantes y los cuales tienen la mayor responsabilidad ambiental.

El estudio de las enzimas, permite ver más allá de lo que se encuentra a simple vista, este permite entender el porqué de los procesos biológicos y los procesos bioquímicos que ocurren en los alimentos, en este sentido, permite dar explicación al oscurecimiento de las frutas y verduras cuando se exponen al aire, así como, el cambio de sabores, colores y olores cuando un producto es sometido a diferentes métodos de cocción, entre otros procesos que permiten cambiar la perspectiva de como concebimos los alimentos y como ocurren los procesos dentro

de las células y moléculas que conforman esos alimentos (Peña, C. & Quirasco, M., 2014).

El uso de enzimas en el sector alimenticio, no viene dado solo por los beneficios económicos que trae consigo la producción de las mismas, sino que favorece mucho en relación a las propiedades de los alimentos, no solo en el sabor, sino en las características nutricionales, además de poder obtener alimentos aptos para personas que no puede degradar algún tipo de molécula en su organismo, además el uso de enzimas, ha traído consigo nuevas posibilidades de estudio en relación a enzimas capaces de inhibir el crecimiento microbiano y el desarrollo de empaques que permiten mantener las características sensoriales de los alimentos, así de empaques que permiten alargar la vida útil de un alimento (Moral et al., 2015)

En cuanto a la producción de enzimas, es posible obtenerlas de diferentes fuentes, como, por ejemplo, de animales, plantas o a partir de microorganismos, sin embargo, estos últimos son los que mayores ventajas tienen a la hora de producir enzimas en cantidades comerciales y factiblemente económicas, entendiendo que la cantidad de espacio para la producción de microorganismos es mucho menor, además de que no están asociados a una estación climática determinadas, su crecimiento es acelerado y muchos de ellos utilizan fuentes de alimentos realmente económicas en comparación con las otras fuentes de obtención de enzimas, sin embargo, hay ciertos microorganismos que requieren condiciones especiales para crecer y a los cuales se les podría extraer enzimas con características muy específicas, un ejemplo de estos, son los microorganismos que crecen en aguas termales con temperaturas superiores a los setenta grados centígrados, de allí se pudieran obtener enzimas termoestables con las cuales, se pudiera ampliar la variedad y las condiciones en que se obtienen nuevos productos (Rodríguez Esquivel, 2020).

En el presente capítulo se realizará una revisión bibliográfica sobre las enzimas, para ello, se evaluará la definición de la misma y cuáles son las características más relevantes de las enzimas, así como los factores que puedan

afectar su desarrollo, seguidamente, se indicará como se clasifican las enzimas y cuáles son las variables que se toman en cuenta para clasificar a las enzimas.

Aunado a esto, se tomará en cuenta la actividad enzimática y la especificidad de las enzimas respecto a los sustratos, por otra parte, se evaluarán cuáles son las enzimas más comunes dentro de la industria alimentaria, el porqué de su uso y las ventajas que tienen, para finalmente indicar el pardeamiento enzimático y explicar, cómo y por qué ocurre.

4.2 Enzimas

Una enzima, es una proteína que es capaz de acelerar reacciones químicas dentro de los organismos, con el objetivo de obtener un producto específico a partir de un sustrato determinado, la reacción química, depende de la estructura tridimensional que tenga la enzima, además de que ocurre dentro de las cavidades denominadas sitio activo, que son los que muestran afinidad por una molécula específica y a la cual, van a transformar en un producto determinado (Ramírez, J. & Ayala, M., 2014).

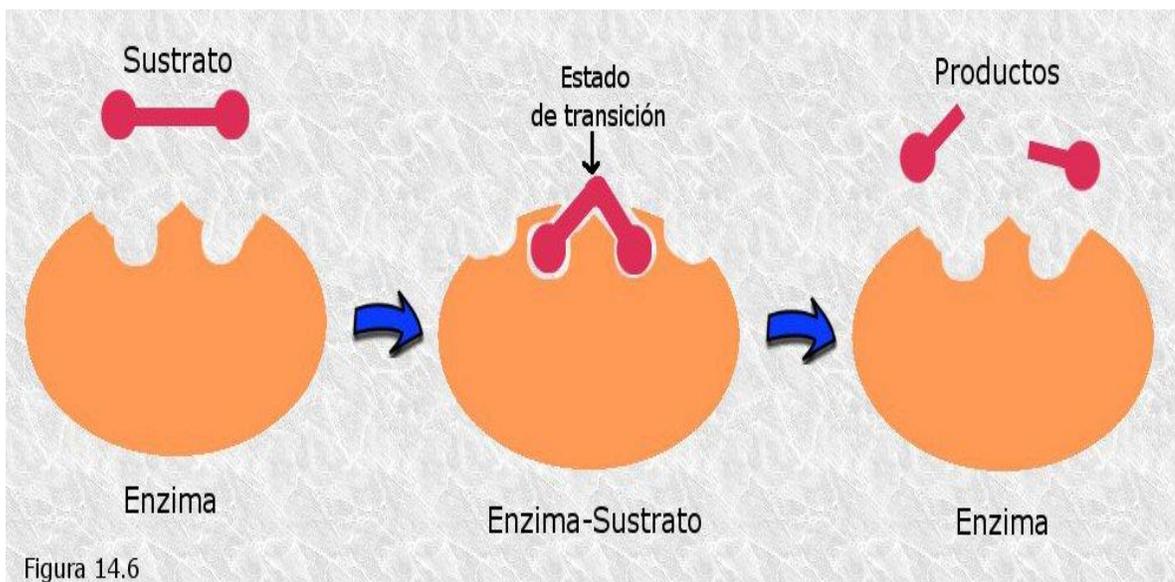


Figura 18. Estructura de una enzima

Nota: Tomado de: <https://www.bionova.org.es>

En sí, las enzimas lo que hacen es modificar la velocidad de las reacciones, para hacerlas energéticamente favorables, ellas actúan sobre los sustratos de reacción haciendo que sea más fácil la conversión de productos, para que esto ocurra, los sustratos se unen al centro activo de la enzima, que es el lugar donde ocurre la catálisis, generándose los productos de la reacción química, a estas reacciones se les denomina reacciones enzimáticas.

Es necesario entender que las enzimas son altamente selectivas con el sustrato que necesitan y con los productos que elaboran, por ello, el metabolismo de la célula, va a estar determinado por el conjunto de enzimas que se encuentren en ella y esto a su vez viene determinado por los genes de la célula. Por otra parte, la actividad que ocurra en las enzimas, puede verse afectada por inhibidores enzimáticos, los cuales son moléculas que, o impiden una reacción o disminuyen la velocidad de la reacción, también existen moléculas que realizan todo lo contrario, es decir, son capaces de incitar la reacción o acelerarla, ejemplo de estos activadores o inhibidores, son los fármacos, que bien pueden ser antagonistas de las enzimas, activadores o inhibidores, sin embargo, esta actividad no solo depende de que estén presentes las enzimas, el sustrato, los activadores o inhibidores, existen variables que si se alteran pueden afectar la actividad enzimática, entre las cuales se mencionan, factores físico – químicos, temperatura bien sea por defecto o por exceso, el pH del medio, la concentración de sustrato y la concentración de la enzima, cada uno de ellos incide directamente en la reacción enzimática y la cantidad de producto que se desee obtener de ella (Cardona, F., 2020b).

La importancia de las enzimas, radica en la gran variedad de reacciones en las que se involucran, cumpliendo funciones específicas para dar lugar a nuevos productos, que son necesarios para el desarrollo y bienestar del organismo, parte de las funciones que realizan las enzimas es la degradación de los azúcares, realizan copia exacta de la información genética, pueden sintetizar aminoácidos y grasas, además de participar en la transmisión y reconocimiento de señales del exterior del organismo, por otra parte, eliminan productos tóxicos para las células,

entre otras funciones vitales para la célula y el organismo (Ramírez, J. & Ayala, M., 2014).

Por otra parte, el mayor interés de la industria en las enzimas, radica en que no solo son capaces de trabajar eficientemente dentro de la célula, sino que se pueden extraer de las células y trabajan de la misma manera, esta extracción de las enzimas, hoy en día hace que los procesos industriales sean mucho más eficientes y se consigan productos que sin ellas, no fuesen posible, además que no solo se utilizan en la industria química, son muy útiles en la industria farmacéutica, en la industria alimentaria, en la industria de detergentes, entre otras empresas que aprovechan su capacidad de acelerar las reacciones siendo económicamente factibles (Ramírez, J. & Ayala, M., 2014).

4.2.1 Clasificación

La clasificación de las enzimas, surge debido a una confusión a la hora de nombrarlas, por lo cual, la Unión Internacional de Bioquímica y Biología Molecular, IUBMB, propuso un sistema de clasificación, en el cual se establecieron normas para nombrarlas por su nombre descriptivo, en esta clasificación se tienen seis clases de enzimas donde se establece el tipo de reacción que cataliza, los seis grupos de enzimas se clasifican en, Oxidorreductasa, Transferasa, Hidrolasa, Liasa, Isomerasa y Ligasa, a continuación se explica cada una de ellas de acuerdo a la reacción: (Salazar Carranza et al., 2020).

- Oxidorreductasa: la capacidad de estas enzimas es oxidar un compuesto, es decir, oxidar a un donador de electrones o a un agente reductor, a su vez, que se reduce otro, ya sea un agente oxidante o un aceptor de electrones, esta enzima, puede actuar sobre una amplia variedad de sustratos, los cuales incluyen, aminas, alcoholes, cetonas, incluso puede actuar sobre compuestos inorgánicos como metales o pequeños aniones, pueden encontrarse acopladas a un cofactor, NAD⁺/NAD⁺ o BADPH/NADP⁺, el método que utiliza la enzima cuando se encuentra acoplada, es oxidando una molécula, mediante la

transferencia de un hidruro (H^-) al cofactor, $NADP^+$ o NAD , correspondiente, obteniéndose la forma reducida, $NADPH$ o $NADH$, también puede actuar llevando a cabo la reducción mediante la transferencia del hidruro desde el cofactor. La importancia en la industria de esta enzima, se encuentra en el hecho de que es una buena opción desde el punto de vista medio ambiental, si se compara con enzimas de la química redox, los cuales normalmente contienen metales de transición, por otro lado, su regio especificidad, la estereoselectividad o la que es posible que alcance los parámetros cinéticos adecuados y la obtención óptima de especificidad de sustrato, la hace una alternativa muy atractiva en relación con la química tradicional. Aunado a esto, este tipo de enzimas, son de alto interés para la obtención de fármacos, debido a que incorporan moléculas de oxígeno al sustrato en condiciones suaves de reacción y el subproducto que se obtiene es agua.

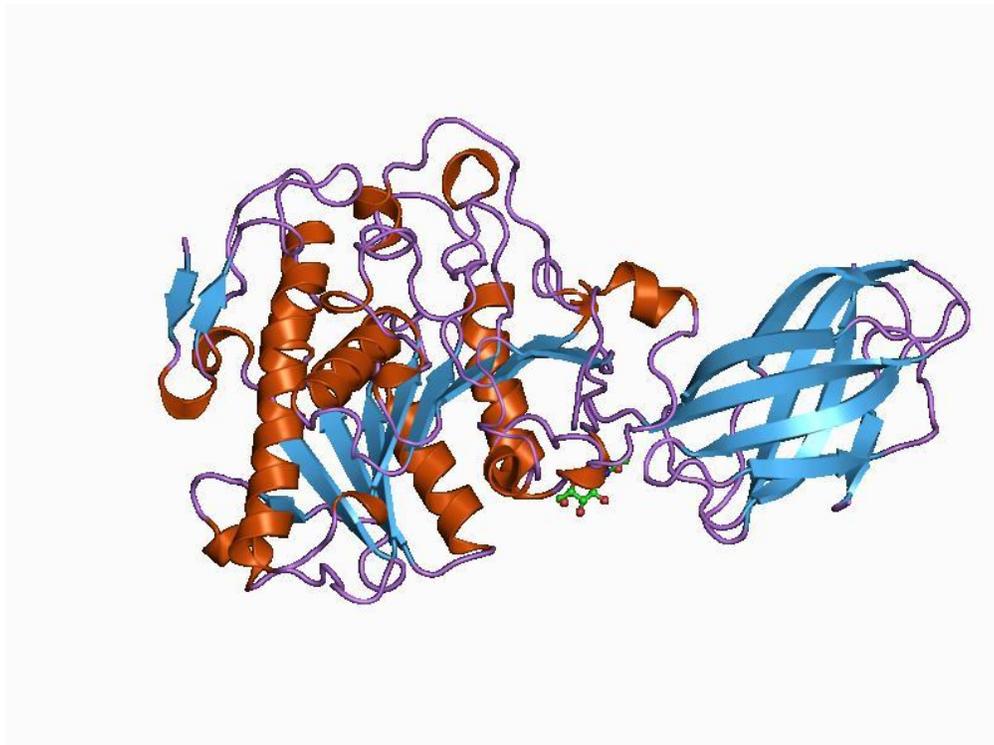


Figura 19. Enzimas oxidorreductasas

Nota: Tomado de: <https://www.lifeder.com>

- Transferasa: son las que transfieren grupos funcionales de un sustrato, actuando como donador, a otro sustrato que actúa como receptor, su importancia radica en que los procesos metabólicos necesarios para que la vida tenga lugar incluyen este tipo de enzimas, quien descubre el proceso de las reacciones químicas procesadas por esta enzima, fue el Dr. R.K. Morton, en el año 1953, su observación se llevó a cabo al momento de que la enzima transfirió un grupo fosfato, desde una fosfatasa alcalina a una β -galactosidasa siendo esta última la receptora de la reacción, en relación a la nomenclatura de la enzima, esta se realiza por la característica de la molécula que recibe el grupo funcional, por ejemplo, ADN – metiltransferasa, en cuanto a la importancia biotecnológica en la industria alimentaria y farmacológica, radica en que las transferasas, permiten la modificación de sus genes, lo cual, puede traducirse en que se pueden modificar con la intención de que cumplan actividades específicas dentro del organismo que la consume, de manera que puede contribuir no solo en la nutrición adecuada, sino que también influye en la salud del paciente. Sin embargo, cuando la enzima falla, ocurre una acumulación de productos indeseados dentro de la célula, lo cual, las hace responsables de enfermedades patológicas, ejemplo de estas enfermedades, se tienen, el Alzheimer, Huntington, galactosemia, entre otras. Como se mencionó anteriormente, las transferasas, participan en múltiples procesos metabólicos, entre los que se pueden mencionar, la biosíntesis de los glucósidos, en sí se encarga de metabolizar los azúcares, en este sentido una enzima glucotransferasa, es la responsable de la conjugación de los antígenos A y B que se encuentran en la superficie de los glóbulos rojos, la variación en la unión de los antígenos ocurre debido a un polimorfismo de los aminoácidos Pro234Ser, que se encuentra en la estructura original de las β -transferasas, las enzimas Glutación – S – transferasa que se ubican en

el hígado son parte de la desintoxicación de la células hepáticas, en este sentido, las protegen de los radicales libres, del peróxido de hidrógeno que se acumula en el citoplasma de la célula y es altamente tóxico y de las especies reactivas del oxígeno, por otro lado, quien cataliza la biosíntesis de pirimidinas en el metabolismo de los nucleótidos, es el aspartato carbamoil transferasa, estos componentes son fundamentales de los ácidos nucleicos y de moléculas de ATP, las cuales contienen alta energía y se utiliza en muchos de los procesos celulares. Las transferasas, contienen elementos que son electronegativos y nucleófilos fuertes, los cuales, son los que les da la capacidad de transferencia a la enzima, las moléculas que son capaces de transferir, por lo general son residuos aldehídicos y cetónicos, como, por ejemplo, glucosilo, alquilo, acil, grupos nitrogenados, grupos ricos en fósforo, algunos grupos que contengan azufre, entre otros.



Figura 20. Enzimas transferasas.

Nota: Tomado de: <https://www.lifeder.com>

- Hidrolasa: estas enzimas, catalizan el rompimiento de enlaces Carbono – Oxígeno (C-O), Carbono – Nitrógeno (C-N), Carbono – Azufre (C-S) y Oxígeno – Fosforo (O-P), por adición de agua, el nombre de la enzima se forma con el sustrato sobre el cual trabaja la enzima y son el sufijo asa, en este grupo de enzimas se encuentra el acetilcolinesterasa y la ribonucleasa, las cuales, hidrolizan la unión éster que existe entre el acetato y la colina de acetilcolina, además de las uniones entre nucleótido en ARN, la arginasa, también pertenece al grupo de las hidrolasas, esta se encarga de catalizar la arginina, dando como resultado urea, las ventajas de este grupo de enzimas, se encuentran en que no dependen de un cofactor para realizar su trabajo, el medio en el que trabajan puede ser un disolvente orgánico o un medio acuoso, su comercialización es fácil, es un excelente biocatalizador cuando se requiere sintetizar compuestos quirales, no es exigente con el sustrato, lo cual indica, que puede trabajar en presencia de cualquier sustrato, además de que tiene una elevada regio-quimio- enantioselectividad, este hace que el interés por la misma sea mayor, otro ejemplo de enzimas hidrolasas, se tienen las lipasas, cuyo uso en la industria farmacéutica es elevado, por lo mencionado anteriormente, ayudando a obtener antiinflamatorios y antihipertensivos de alta calidad, la capacidad de resolver mezclas racémicas y de desimetrización de compuestos proquirales, hace que predomine su uso de manera aislada.

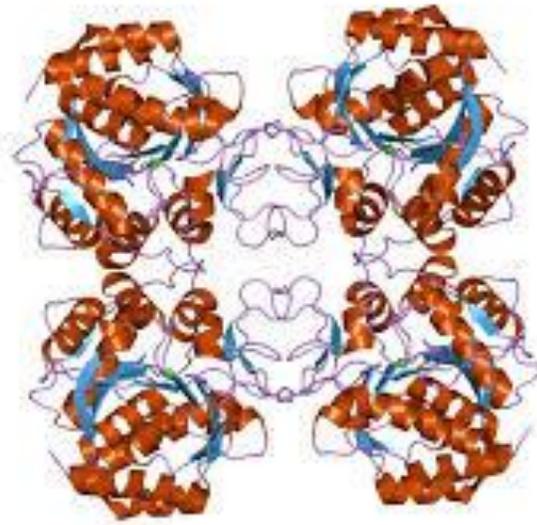


Figura 21. Enzimas hidrolasas.

Nota: Tomado de: <https://www.lifeder.com>

- **Liasa:** este tipo de enzimas, pueden catalizar uniones de Carbono – Carbono, Carbono – Azufre y Carbono – Nitrógeno, (de este grupo se excluyen las uniones peptídicas), de la molécula del sustrato, el cual se lleva a cabo por un proceso totalmente diferente a la hidrólisis, hay casos en que algunas enzimas liasas eliminan grupos del sustrato y llegan a formar enlaces dobles, ciclos, ligadura o en algunos casos, agregan grupos a enlaces dobles, los nombre que se utilizan y que se recomiendan cuando eliminan CO_2 es descarboxilasas, al eliminar H_2O deshidratasas y cuando eliminan un aldehído aldolasas, si existe el caso de que la reacción sea inversa, que es cuando se incorpora un grupo y esta sea lo más importante de la reacción, se utiliza la denominación sintasa, difiere del término sintetasa, esto con el propósito de hacer énfasis en la síntesis de la reacción.

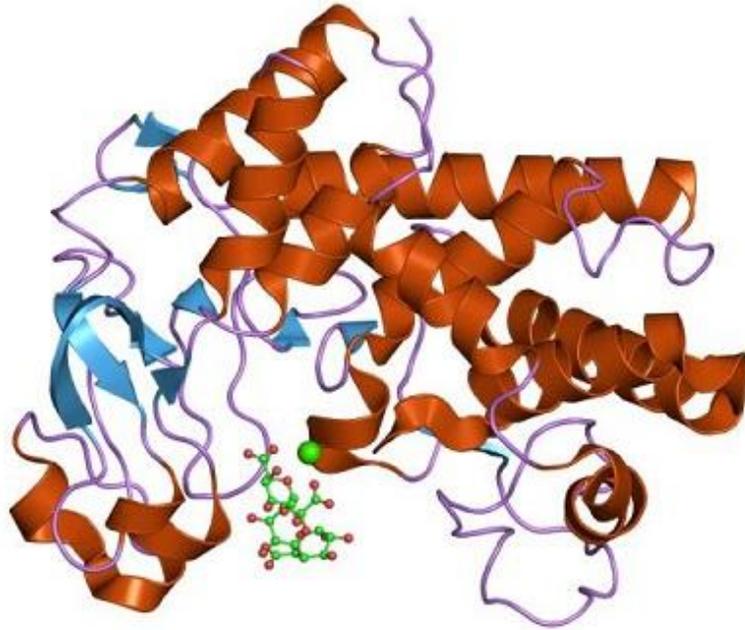


Figura 22. Enzimas Liasas.

Nota: Tomado de: <https://www.lifeder.com>

- Isomerasa: las enzimas isomerasas, son capaces de actuar sobre cualquier isómero, bien sea geométrico, óptico o de posición para interconvertible, esto no implica una modificación química, solo catalizan en el rearrreglo espacial del sustrato.

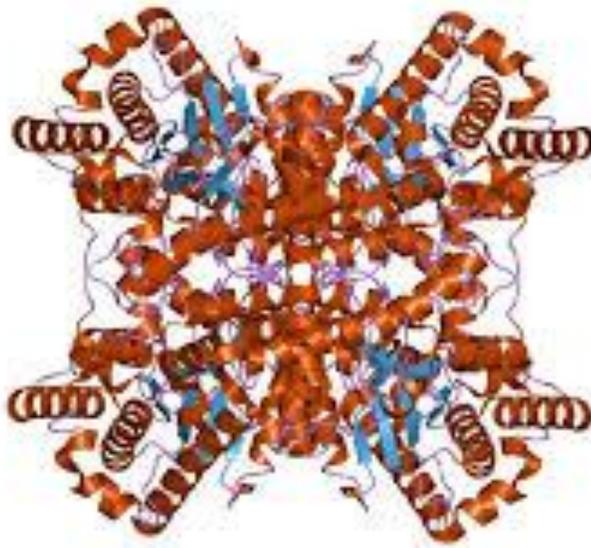


Figura 23. Enzimas Isomerasas.

Nota: Tomado de: <https://www.lifeder.com>

- Ligasa: también conocidas como sintetasa, son las enzimas que promueven la unión covalente entre dos moléculas que están acopladas con la ruptura de un enlace pirofosfato, este puede provenir de CTP, UTP o ATP, como fuente de energía.

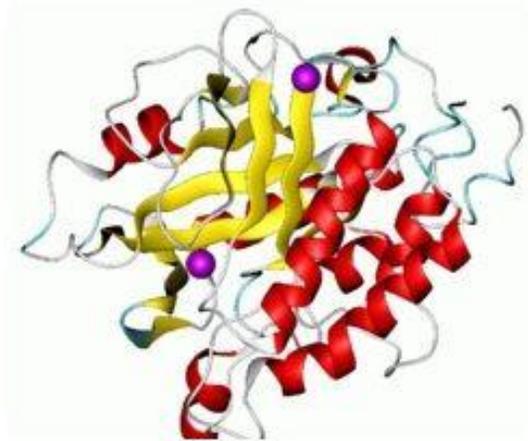


Figura 24. Enzimas Ligasas.

Nota: Tomado de: <https://www.lifeder.com>

4.3 Actividad enzimática

La actividad enzimática, se refiere a la velocidad en que una enzima cataliza una reacción para convertir un sustrato en un producto determinado, para que esto ocurra deben estar equilibrados varios factores como la temperatura, el pH de la reacción, la concentración de sustrato y la concentración de la enzima. Para lograr determinar la actividad enzimática de una reacción se debe tener en cuenta que la cantidad de la enzima, se indica por lo general en Unidades Internacionales (UI), independientemente de la enzima, una unidad es la cantidad que cataliza la transformación de un micromol, de sustrato por minuto, siempre y cuando las condiciones de la reacción de pH, temperatura, entre otras, sean las adecuadas, en relación a la actividad específica, esta es una expresión que indica la pureza de la preparación, esta pureza es relativa, y relaciona la actividad enzimática con el total de las proteínas existentes y no con el volumen de la muestra, por otra parte, la

actividad específica, indica las unidades de enzimas en cada miligramo de proteína que se tiene en la muestra.

Si se tiene la ventaja de trabajar con enzimas en estado puro, se puede expresar la actividad enzimática en miligramos de enzima, además de esto, al tener el peso molecular, es posible calcular la actividad molar, el número de recambio o constante catalítica, que corresponde al número de moléculas de sustrato que han sido transformadas en un producto determinado por unidad de tiempo, en cuanto a la unidad de tiempo utilizada, por lo general se utiliza minuto.

Como se mencionó, la actividad enzimática va a depender de varios factores entre los cuales se pueden mencionar:

- pH: la concentración de iones hidronio, en el medio donde debe trabajar la enzima, afecta de manera abrupta la actividad enzimática, entendiéndose que el pH influye directamente en el sitio activo, en el grado de ionización de los aminoácidos de la proteína, en el complejo, enzima – sustrato, incluso un pH no adecuado para el tipo de enzima llega a afectar la estructura tridimensional de la proteína, causando a su vez, que se pierda la afinidad que tenga la enzima por el sustrato, en este sentido, se debe tener en cuenta el pH del medio del sustrato, considerando que la mayoría de las enzimas tienen un rango de pH muy estrecho en que su actividad enzimática es óptima, en pH extremos, la enzima se desactiva, sin embargo, se pueden encontrar excepciones de la regla, tal es el caso de la catalasa bovina y la α -amilasa, las cuales tienen un rango amplio de actividad enzimática. En la industria alimentaria, se deben seleccionar enzimas que trabajen a pH entre 3 y 7, debido a que ese es el pH natural de la mayoría de los alimentos y es muy difícil modificarlo, además existen frutas cuyo pH es de 2, lo cual minimiza el rango de enzimas que puedan trabajar en esas concentraciones de iones hidronio, en caso donde el alimento lo permite, se puede inhibir la actividad enzimática de manera endógena, adicionando ácidos como aditivo a la fórmula del alimento, por otra parte, el pH también requiere que las otras variables operacionales como la temperatura estén en las condiciones

adecuadas, además de la concentración del sustrato y la capacidad que tenga la solución tampón de amortiguar. Si el pH de la solución no es el adecuado, pueden pasar varios efectos negativos, como, por ejemplo, las estructuras secundaria y terciaria de la enzima, se altera por causa de la protonación y desprotonación de los residuos, que pueden ser, principalmente, aspárticos, glutámicos, histidina, arginina o lisina, trayendo como consecuencia una desnaturalización irreversible de la proteína (Badui, S., 2020)

- Temperatura: la temperatura juega un papel importante en la actividad enzimática, entendiendo que, a bajas temperaturas, las enzimas muestran una actividad pobre, debido a la poca energía que tiene el medio para llevar a cabo la reacción, mientras que a altas temperaturas, las moléculas reactantes tienen mayor movimiento permitiendo que choque con las enzimas y éstas tengan una actividad más acelerada, las enzimas humanas, tienen su óptimo de temperatura a 37°C, es decir, la temperatura corporal, mientras que a temperaturas superiores a los 50 °C, ocurre una destrucción de la estructura terciaria de la proteína y por ende se pierde la actividad enzimática, en este sentido, la esterilización y cuidado de equipos de laboratorio, la limpieza de equipos en industrias alimentarias y farmacéuticas, en fin, donde se trabaje con microorganismos que generan enzimas y que son de alto riesgo para la salud, se utilizan temperaturas de desinfección mayores a los 50 °C, sin embargo, se conoce de microorganismos termófilos, los cuales, pueden vivir a temperaturas mayores a los 100°C, en este caso las enzimas que producen también pueden trabajar a esas temperaturas extremas, las investigaciones muestran que estas enzimas son iguales a las enzimas de actividad a temperaturas normales, solo que contienen más tirosina y arginina, debido a estos leves cambios, las enzimas pueden hacer enlaces por puentes de hidrogeno y puentes salinos, que les permiten estabilizar la estructura terciaria a altas temperaturas y así resistir el desdoblamiento y la inactividad enzimática.

- Concentración de enzimas y sustrato: para que ocurra una catalización en una reacción, lo primero que debe ocurrir es que el sustrato se una a la enzima, formando así el complejo, enzima – sustrato, en este sentido, una concentración estimada de sustrato, al agregarse la enzima aumentando la cantidad de la misma, aumenta la velocidad de la reacción en forma exponencial, teniendo entonces que a mayor concentración de enzimas, más rápida será la reacción y la actividad enzimática, esto siempre ocurrirá si la concentración de sustrato es mayor a la concentración de la enzima, que es lo que generalmente ocurre, sin embargo, hay ocasiones en que el sustrato se encuentra en pocas cantidades y agregar más enzimas no hará que la reacción sea más rápida, o pueden existir casos en que la enzimas se encuentren en su totalidad activas y no queden enzimas libres para trabajar con el sustrato y agregar sustrato tampoco aumentará la velocidad de la reacción, alcanzando así el máximo de la velocidad de la reacción.
- Otros factores que afectan la actividad enzimática: las enzimas se ven afectadas por todos los factores que influyen en las proteínas, esto gracias a su naturaleza química, en este sentido, la fuerza iónica, afecta la estructura tridimensional de la enzima causando que se modifique el sitio activo, además de esto, los iones de metales pesados, entre los que se nombran, mercurio, plata y el plomo, inhiben generalmente la actividad enzimática, mientras que existen vario aniones y cationes que funcionan como activadores de la actividad enzimática, como, por ejemplo, aniones de bromo, yodo y cloro y cationes como, el cobre, magnesio, calcio, sodio, potasio, níquel, cinc, cobalto, hierro y el manganeso. Dependiendo de la enzima, se debe analizar la necesidad de utilizar uno de estos aniones o cationes o si existe algún metal pesado que pueda perjudicar la actividad enzimática, la manera en que actúan como activadores, se debe a que muchas veces forman parte del sitio activo y se requiere de su presencia para que la enzima interactúe con el

sustrato o para que ayude a mantener la estructura tridimensional, interactuando con alguna de las partes de la enzima.

4.4 Especificidad enzimática

La especificidad enzimática, se refiere a la capacidad que tiene las enzimas de catalizar reacciones químicas de manera específica, esto significa, que el intervalo de acción está limitado a un determinado tipo de compuesto, el cual debe tener ciertas características en su estructura para que pueda ser utilizado por la enzima como un sustrato, propiedad que las hace totalmente diferentes en comparación con los catalizadores no biológicos (Cardona, F., 2020b).

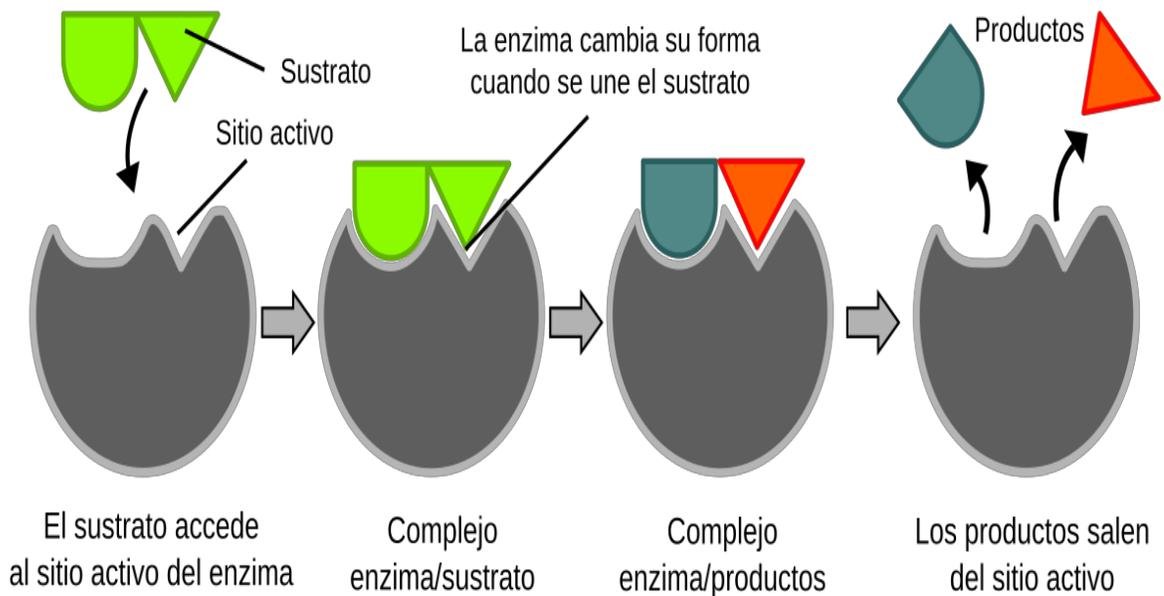


Figura 25. Especificidad de las enzimas.

Nota: Tomado de: <https://www.lifeder.com>

Esta especificidad se puede describir de diferentes maneras, tenemos una especificidad estereoquímica, la cual, se explica utilizando la especificidad de las glucosidasas, entre las cuales se tienen a la maltosa y la celobiosa, ambas son disacáridos compuestos por dos moléculas de glucosa y poseen enlaces glucosídicos con configuraciones alfas y betas respecto al C₁, esto ocasiona que haya una orientación de los grupos glucosídicos de diferente manera, en este sentido, la celobiosa, no será hidrolizada por una α -glucosidasa, de igual manera ocurre con la maltosa, que no puede ser sustrato de una β -glucosidasa, por otra parte, se encuentra que la estereoespecificidad de una enzima, indica, que esta puede reconocer una forma óptica del sustrato, entendiendo entonces, que las enzimas tienen regioespecificidad, que significa que reconoce un determinado grupo químico, cuando este está en una posición determinada de una molécula, esto no implica que existan enzimas con baja especificidad, un ejemplo de ellas, son las lipasas la cual puede hidrolizar enlaces ésteres en ácidos y alcoholes, en una gran variedad de compuestos orgánicos, esto sin importar la naturaleza del sustrato, también se tienen algunas proteasas, que pueden hidrolizar enlaces peptídicos entre cualquier aminoácido (Badui, S., 2020).

La especificidad de las enzimas, también se puede determinar por la especificidad de grupo o quimio selectividad, esto ocurre cuando la enzima actúa única y exclusivamente sobre un sustrato que contiene un determinado grupo químico específico o un enlace determinado, un ejemplo, sería la tripsina esta enzima hidroliza enlaces peptídicos donde los grupos carboxilos del enlace, se encuentra una arginina o la lisina, lo mismo ocurre con la con las proteasas vegetales, las cuales pueden hidrolizar las uniones adyacentes de aminoácidos básicos, como leucina o glicina y las pepinas, que solo pueden actuar sobre enlaces que contienen aminoácidos aromáticos o ácidos dicarboxílicos (Ramírez, J. & Ayala, M., 2014).

4.5 Enzimas presentes en los alimentos.

Las enzimas, son elementos muy importantes en la industria de los alimentos, ya que, muchos de ellos necesitan ser hidrolizados para poder ser fuente de nutrientes, para el cuerpo humano, en este sentido, hay muchas enzimas que hidrolizan carbohidratos, otras que hidrolizan proteínas, otras que hidrolizan lípidos, y otras reacciones enzimáticas que también son importantes en la alimentación. A continuación, se desarrollan algunas enzimas dentro de la industria alimenticia. (Badui, S., 2020)

- Las carbohidrasas, son enzimas que pueden degradar algunos carbohidratos, estos contienen polímeros, entre los cuales se pueden citar como ejemplo, la celulosa, el almidón, las pectina y requieren de una degradación enzimática, donde los principales métodos para llevar a cabo el proceso, son las enzima hidrolíticas, que interactúa con un sustrato polimérico lo que ocurre, es que la actividad de la exoenzima, remueve la unidad del polímetro de alguno de sus extremos y las endoenzimas, rompen los enlaces internos en cualquier punto de la cadena del polímero (Peña, C. & Quirasco, M., 2014).
- Las amilasas, en específico, las α -amilasas, es una endohidrolasa, que actúa sin especificidad de enlace, sobre los enlaces internos α 1-4 de la amilosa y de la amilopectina, en lo que rompe el enlace, se producen dextrinas, que van de 10 a 20 unidades de glucosa, se conoce también, como enzima licuante, entendiendo que su presencia, disminuye la viscosidad de soluciones donde hay almidón; por otra, parte es capaz de romper uniones glucosídicas, que se encuentren adyacentes a ambos lados de enlaces α 1-6 de amilopectina, no siendo este el ataque principal de la de la enzima. Para obtener α amilasas, usualmente se obtienen de microorganismos, en específico los del género *Bacillus*, teniendo como principales proveedores de amilasas *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* y el *B. licheniformis*, además de esto, las enzimas que producen estos microorganismos, son enzimas metalo-enzimas, es decir, dependen del ion calcio, que les ayuda a mantener

la actividad, además de que las estabiliza, contra la desnaturalización térmica y degradación por proteasas, otra fuente de origen de las amilasas, son de tipo fúngico, es decir, provienen de hongos, como el *Aspergillus*, entre las especies de este hongo se tienen, el *A. niger*, *A. oryzae*, *A. awamori* y *A. usamii*.

- En cuanto a las β amilasa, estas logran hidrolizar enlaces α 1-4 a partir de los extremos que no son reductores de la amilosa y de la amilopectina, dando como resultado, moléculas de maltosa, gracias a que la enzima trabaja en el extremo de la cadena, esto la clasifica como una exoenzima y para que ocurra una disminución importante de la viscosidad de la solución de almidón, debe ocurrir una hidrólisis extensiva cuando se encuentra con uniones, α 1-6 de amilopectina, la acción de la enzima, se detiene y se generan fragmentos conocidos como, dextrinas β -limite, el nombre se origina, gracias a que ocurre una inversión de la configuración del carbono anomérico, de α a β y genera moléculas de β – maltosa, esta reacción, se produce de manera endógena, en las semillas durante la germinación y esto ocurre, gracias a un gran número de microorganismos, en este proceso donde podemos encontrar, *B. cereus*, *B. megaterium*, *B. polymyxa*, *B. stearothermophilus*, *Streptomyces sp* y *Aspergillus fumigatus* (Badui, S., 2020).
- La glucoamilasa o amiloglucosidasa, es una enzima que tiene la capacidad hidrolizar enlaces α 1-4 y enlaces α 1-6, que se encuentran presentes en los glucanos, por el extremo no reductor de la cadena, produce β glucosa, mediante una inversión de la configuración del azúcar, como en el caso de la β amilasa, cuando ocurre una acción prolongada está enzima, causa una hidrólisis total del almidón, lo cual, resulta muy útil para la fabricación de jarabes de glucosa a nivel industrial, este tipo de enzimas, se obtiene a partir de *A. niger* y de *Rhizopus delemar*. (Peña, C. & Quirasco, M., 2014).

- Pululanasa, es una enzima que hidroliza enlaces α 1-6 de pululano, que es un polímero que está conformado por maltotriosa, unida por enlaces α 1-6 a la amilopectina y las dextrinas límite, para que esté actúe, requiere que cada una de las cadenas de amilopectina, que se encuentran unidas por enlaces α 1-6, contengan al menos dos unidades de glucosa y estén unidas por enlaces, α 1-4, es posible encontrar a esta enzima con el nombre, de enzima R o encima desramificante, en la hidrólisis de almidón, esta enzima, se utiliza como enzima desramificadora y se puede obtener a partir de *Klebsiella pneumoniae* o del *B. acidopullulyticus*.
- Las amilasas se involucran en procesos de panificación, con el objetivo de aumentar el contenido de azúcares fermentables, para la levadura, en procesos de elaboración de cervezas, se requieren de las amilasas, para producir maltosas que ayudan a la fermentación alcohólica, en la producción de cereales, se requieren las amilasas, para producir maltosa y dextrina, con lo cual, se aumenta la absorción del agua, en la industria chocolatera y de edulcorantes se requiere de este tipo de enzimas para fluidificar el almidón, además de producir dextrina de bajo peso molecular y de glucosas a partir de almidón (Badui, S., 2020).

Por otro lado, la mayor parte del planeta tierra, está conformada por tejido vegetal, en este tipo de tejido encontramos polímeros de celulosa y hemicelulosa, por lo tanto, se requieren de enzimas que tengan la capacidad de hidrolizar este tipo de materiales y poder transformarlos en materias primas, que sean útiles y digeribles para el ser humano. La celulosa, como bien es sabido es un polímero, de glucosa, de igual manera que el almidón, sin embargo, estos cuentan con enlaces β 1-4.

La celulasas, son las enzimas que hidrolizan uniones β 1-4, que se encuentran en los glucanos y en la naturaleza los podemos encontrar en microorganismos que atacan a las plantas, así como también, se pueden encontrar en el sistema digestivo de los animales herbívoros, comercialmente se pueden producir a nivel de a partir de *Trichoderma reesei* y *A. niger*; si lo que se quiere es

una hidrólisis completa, de la celulosa cristalina, a unidades de D-glucosa, primero que hay que transformarla a su estado amorfo con endoglucanasas, para luego hidrolizarla en unidades de celobiosa, a partir de, enzimas celobiohidrolasas y estas últimas se convierten en unidades de D-glucosa.

Gracias a la intervención hidrolítica de la β gluconasas, sobre enlaces β 1-3 y β 1-4, de distintos polisacáridos y también de algunas gomas como, la goma de guar y la goma de algarrobo, la xilanasa, arabinosidasas y otras hemicelulosas, se encuentran incluidas en esta clasificación, este tipo de enzimas, se obtienen a partir de diferentes especies de mohos, como *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* y *Trichoderma* y de otras especies de bacilos. El uso de este tipo de enzimas dentro de la industria alimentaria, se puede encontrar en la industria cafetalera, donde se utilizan para hidrolizar la celulosa durante el proceso de secado de las vallas y así facilitar el descascarillado, en la industria de la cerveza, se utilizan para hidrolizar la pared celular de las semillas de la cebada y en otras industrias como, por ejemplo, en la de aceite de oliva, se utiliza este tipo de enzimas para la extracción del aceite (Moral et al., 2015).

Otras enzimas que son de utilidad en la industria alimentaria, como la dextranasa, que se utiliza para obtener, azúcares especiales y producir oligosacáridos con propiedades prebióticas; en la industria de producción de caramelos de centro suave y la producción de jarabes a partir de sacarosa, se utiliza la invertasa; en la industria de helados, se utiliza la lactasa, con la finalidad de que no se cristalice la lactosa y así se evita la textura arenosa en los helados, de igual manera en la industria láctea, se utiliza la lactasa, para eliminar el azúcar de la leche y así obtener una leche sin lactosa, apta para la población intolerante a este tipo de azúcar; en la industria cervecera, se puede encontrar, que para eliminar los compuestos polifenólicos en el proceso, se utiliza la tanasa (Badui, S., 2020).

En la industria de jugos cítricos, con el fin de eliminar sabores amargos, especialmente en los provocados por la toronja se utiliza la naraginasa; en la industria de los vinos, en el proceso de la clarificación, es necesario utilizar enzimas pépticas; en la industria de panificación, para aumentar la extensibilidad de la masa

y así mejorar la textura, mejorar el volumen del pan y la miga, además de liberar la actividad de la β -amilasa, se utilizan proteasas (Peña, C. & Quirasco, M., 2014).

Del mismo modo en la industria cervecera, se utilizan proteasas, para poder desarrollar el cuerpo y el sabor de la cerveza, ayudando a la clarificación en el proceso de chill proofing; otro uso de la proteasa, en la industria láctea específicamente la producción de quesos se utiliza para producir caseína, además de producir sabores durante la maduración; en la industria cárnica y de pescados se utiliza la proteasa con la finalidad de ablandar las carnes, además de recuperar proteínas del hueso.

En la industria del huevo deshidratado se utiliza la proteasa para mejorar las propiedades del secado cuando se requieren hidrolizados de proteínas, para elaborar salsa de soya, tamari, además de proteínas funcionales.

Otra enzima utilizada en la industria de los quesos es la lipasa, ya que, ayuda a mejorar los atributos de sabor durante la maduración, en la industria de los lípidos, para convertir grasas en aceites y glicerol, además, de ácidos grasos y reacciones de esterificación, se utilizan las lipasas cuando se quiere en la industria láctea, adecuar el sabor de la leche a sabor a chocolate; en la industria de las grasas se requiere de la lipasa para producir emulsificantes, o grasas con diversas composiciones, además de producir aromas (Badui, S., 2020).

En la industria láctea, se puede encontrar que se utiliza la fosfatasa, cuando se requiere monitorear procesos térmicos, como la pasteurización; en la industria de vegetales semiprocados, se utiliza la peroxidasa y la catalasa, para monitorear el escaldado, hay una variedad de productos que utiliza glucosa oxidasa y catalasa, para eliminar el oxígeno y la glucosa, evitando la oxidación y el oscurecimiento de los productos. La polifenoloxidasas, se utiliza en la industria de café y de pasas, para favorecer el oscurecimiento durante la fermentación y en algunos casos en la maduración en la industria del jugo de caña, se utiliza la dextranasa, con el fin de tratar jugos contaminados con dextrana (Moral et al., 2015).

Aunado a esto, las enzimas, no solo se utilizan para modificar un alimento o una molécula dentro de un alimento, ellas también actúan en procesos de conservación de las características sensoriales y químicas, durante el procesamiento y durante el almacenamiento, un ejemplo de esto, es el uso de manera industrial del huevo en polvo, el cual es práctico y seguro para utilizarlo en las diferentes fórmulas alimenticias que llevan esta materia prima, sin embargo, se encuentra la glucosa, y para eliminar este carbohidrato, se requiere de la enzima glucosa oxidasa, para luego deshidratar el huevo, no eliminar la glucosa de la yema, se daría una reacción de oscurecimiento del producto, porque actúan la glucosa y la proteína del huevo, dando mal aspecto al producto, además de esto, la enzima, consume el oxígeno y ayuda a evitar la oxidación de los productos.

Las bacterias ácido lácticas, se han considerado dentro de la industria de los alimentos por mucho tiempo, como las responsables de la conservación de los productos alimenticios, sin embargo, se ha desarrollado estudios, en los cuales las bacterias lácticas entre las que se mencionan *Pediococcus* y *Enterococcus*, pueden producir enzimas que tienen la capacidad de inhibir el crecimiento microbiano de bacterias patógenas, se encontró efectos inhibitorios sobre la *Salmonella entérica*, *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes*, el nombre de estas enzimas es, peptidoglucán hidrolasas y el mecanismo que utilizan para eliminar las bacterias es degradar la envoltura celular, en este sentido, se dice que las enzimas también pueden tener un efecto conservador sobre los alimentos.

4.6 Pardeamiento enzimático

El pardeamiento enzimático ocurre en alimentos ricos en fenoles, ejemplo de estos, son los vegetales y mariscos, cuando ocurre el pardeamiento enzimático, se afecta, el sabor, color y el valor nutricional de este tipo de alimentos, en sí, es una reacción química, en la cual, se involucran las enzimas polifenol oxidasas, la catecol oxidasa y otras enzimas que provocan melaninas y benzoquinonas, a partir de los fenoles presentes en estos alimentos, otro nombre con el que se conoce el pardeamiento, es la oxidación de alimentos, esto debido a que se requiere una

exposición al oxígeno, cuando el alimento se expone al oxígeno, hay una oxidación de los fenoles, por la enzima polifenol oxidasa, convirtiéndolo así, en quinonas, luego estas quinonas, polimerizan mediante una serie de reacciones, dando lugar a los pigmentos marrones que se puede observar en la superficie de los alimentos, llamadas melaninas, melanosis o propiamente pardeamiento, la tasa de reacción o la velocidad de reacción con que ocurre el pardeamiento enzimático, va a estar asociada a la cantidad de polifenol oxidasa, que se encuentran activas y presentes en el alimento, en la industria alimentaria, existen métodos para inhibir este tipo de oscurecimiento de los alimentos y están centrados en desactivación de la enzima. (Cardona, F., 2020a).

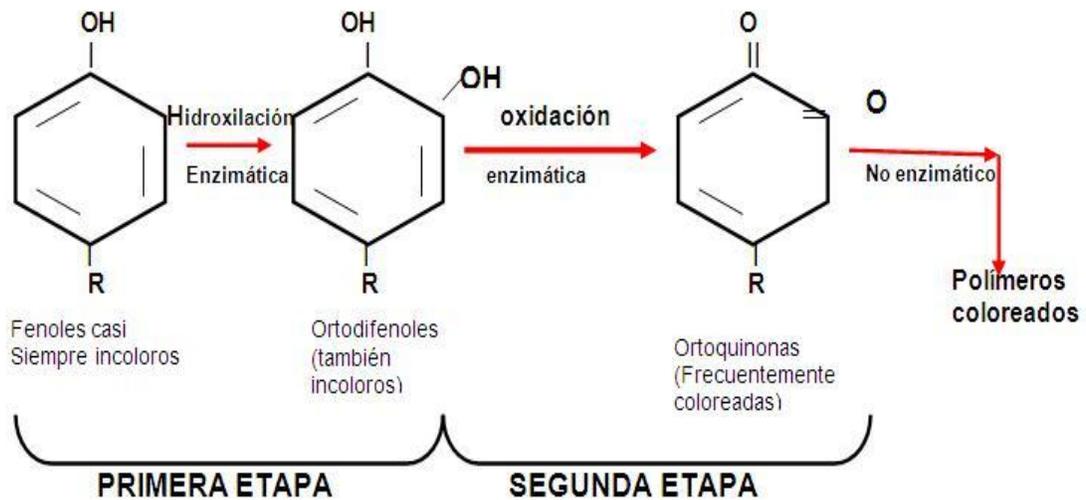


Figura 26. Pardeamiento enzimático de la manzana.

Nota: Tomado de: <https://alimentos6173.blogspot.com>

Cuando los productos o los alimentos están completos, es decir, no han pasado por un mínimo procesamiento, los compuestos fenólicos se encuentran dentro del citoplasma de la célula y están separados de las enzimas que provocan la reacción, en este sentido, el pardeamiento no ocurre, debido a que se encuentran unidas a la membrana tilacoides, de los cloroplastos y las membranas

mitocondriales, esto evita que haya o no haya contacto entre el sustrato y la enzima, hay ocasiones en que el pardeamiento ocurre, pero, estaría asociado a la permeabilidad de las membranas celular y esto pasa por un proceso de senescencia.

En productos alimenticios, donde ocurre un proceso donde hay un corte, se establece un contacto entre la enzima y el sustrato, por presencia del oxígeno y se da la reacción de pardeamiento, además de esto, el estrés generado en el producto, genera una reacción de aumento de producción de C_2H_4 , lo cual, estimula el metabolismo de compuestos fenólicos, en respuesta fisiológica del tejido para poder disminuir la pérdida de agua y prevenir ataques de patógenos de microorganismo, como se mencionó anteriormente la actividad enzimática depende mucho de los compuestos y de los factores externos a la reacción como, por ejemplo, la temperatura, el pH, la cantidad de agua, la cantidad de oxígeno, además de la cantidad de compuestos fenólicos, en la industria si se logra controlar todos estos factores se puede regular el proceso del pardeamiento (Piedra, 2017).

Si bien es cierto que el pardeamiento en muchos alimentos no es deseable, sobre todo en productos como frutas, manzanas, patatas, plátanos, aguacates, verduras frescas, en crustáceos, no siempre el pardeamiento es indeseado, o produce efectos negativos en alimentos, un ejemplo de estos, es el desarrollo de color, en granos de cacao, en el sabor del café y del té o en frutos secos como las pasas y los higos. Existen métodos que permiten ralentizar o evitar el pardeamiento enzimático, estos pueden dividirse en métodos químicos y métodos físicos, a continuación, se explican: (Cardona, F., 2020)

- Métodos químicos: requieren del uso de aditivos como es el caso de sulfitos, los cuales han sido altamente cuestionados, por posibles peligros para la salud como, por ejemplo, reacciones alérgicas, náuseas, irritación intestinal, dolor de cabeza, además de disminuir el contenido de algunos grupos de vitaminas y el ácido fólico. La manera en que actúa los sulfitos dentro de la reacción, es la disminución de quinonas a difenoles, las cuales no son susceptibles al pardeamiento enzimático, entendiendo que los polifenoles,

tienen una actividad de óptima en pH, en valores entre 5 y 7 y la acidificación, a valores por debajo de cuatro, utilizando ácidos orgánicos, entre los cuales se pueden utilizar, el ácido málico, el ascórbico o el cítrico, inhibe el pardeamiento, por otro lado, además de bajar el pH, algunos de los ácidos utilizados, también sirven como quelantes del cobre, que es un cofactor de los polifenoles. Esta es la razón de utilizar jugos de limón o vinagre, en preparaciones caseras, para evitar el pardeamiento, en industrias alimentarias, donde se procesan manzanas, las cuales van cortadas y peladas, se utiliza el ácido ascórbico, para evitar el pardeamiento enzimático, en estas frutas, otro químico utilizado como agente quelante, es el ácido etilendiaminotetraacético, conocido como EDTA, que inhibe la actividad de los polifenoles al quelar el cobre.

- Métodos físicos: en los cuales se incluye el escaldado de los alimentos, que es la aplicación del calor, con el cual, se desnaturaliza la enzima y se destruye algunos de los reactivos necesarios que intervienen en la reacción de pardeamiento, que se utiliza en algunas fases del proceso de elaboración de té, las bajas temperaturas también pueden evitar el pardeamiento enzimático, entendiendo que se ralentiza la velocidad de la reacción, otro método utilizado, es la radiación, que puede controlar el pardeamiento, fundamentalmente usando radiación no ionizante, como microondas, ultrasonidos, UV-C, aunque también se utiliza la radiación ionizante, estos métodos pueden ser reversibles o irreversibles. También se puede utilizar atmósferas controladas en los envases, entendiendo que, hay avances tecnológicos, en los que se modifican la permeabilidad del envase para que esta sea selectiva, otro método, es controlar la concentración de oxígeno, para evitar que la reacción tenga esta molécula y se pueda desarrollar el pardeamiento enzimático. Finalmente, se tienen métodos donde se controlan las presiones hidrostáticas, que ayudan a controlar el pardeamiento, por desnaturalización de la enzima, hay muchas empresas que utilizan métodos combinados, los cuales evidentemente van a ser mucho más eficaces, allí se

pueden combinar tantos métodos físicos y químicos, solamente químicos, o solamente físicos.

Como se pudo observar a lo largo del capítulo, la importancia de las enzimas va mucho más allá del poder de catalizar una reacción química, de ellas depende que se puedan dar procesos metabólicos en el organismo y que muchos de los alimentos, medicinas y productos que hoy en día conocemos, puedan ser utilizados.

Su característica de poder ser elaboradas a partir de microorganismo, es su mayor ventaja, entendiéndose que requiere un espacio limitado y unos cuantos controles de temperatura y concentración de sustrato para poder obtenerse una cantidad considerable de enzimas, por otra parte, la capacidad que mejora la calidad de los alimentos, no solo para el consumo humano, sino también para el consumo animal, hace que puedan originar alimentos funcionales y adaptados a las características de la población.

Es necesario seguir estudiando las características de las enzimas, sobre todo aquellas enzimas que se desarrollan en ambientes con condiciones térmicas extremas, entendiéndose que pueden ser una fuente de enzimas termoestables que permitan ampliar el uso de las enzimas en otros procesos donde se requiera esta estabilidad.

En conclusión, las enzimas juegan un papel esencial en la química de los alimentos, actuando como catalizadores que aceleran las reacciones bioquímicas necesarias para la transformación y preservación de los alimentos. A lo largo de este capítulo, hemos explorado las diversas funciones de las enzimas, su especificidad y cómo su actividad puede ser modulada para mejorar la calidad y seguridad de los productos alimentarios.

- Papel de las Enzimas en los Alimentos

Las enzimas están involucradas en una amplia gama de procesos, desde la digestión de macronutrientes hasta la fermentación y la maduración de los alimentos. Comprender cómo funcionan estas biomoléculas nos permite optimizar

los procesos de producción alimentaria, mejorando tanto el valor nutricional como las propiedades sensoriales de los alimentos. Además, la utilización de enzimas en la industria alimentaria ha permitido el desarrollo de productos innovadores y más saludables, respondiendo a las demandas cambiantes de los consumidores.

- **Control y Optimización de la Actividad Enzimática**

El control de la actividad enzimática es crucial para garantizar la calidad y la seguridad de los alimentos. A través de técnicas de ingeniería y la manipulación de condiciones ambientales, los científicos pueden regular la actividad enzimática para maximizar los beneficios deseados mientras minimizan los efectos adversos. Este conocimiento es fundamental para la producción de alimentos procesados y la prolongación de la vida útil de los productos perecederos.

- **Innovaciones y Futuro de la Investigación Enzimática**

La investigación enzimática continúa avanzando, ofreciendo nuevas oportunidades para la mejora de la producción y conservación de alimentos. Las enzimas recombinantes y las técnicas de biotecnología moderna permiten la creación de enzimas con propiedades específicas, diseñadas para aplicaciones particulares en la industria alimentaria. Estas innovaciones prometen revolucionar la manera en que producimos y consumimos alimentos, haciendo posible el desarrollo de productos más sostenibles, nutritivos y apetecibles.

- **Importancia de las Enzimas en la Salud Humana**

Además de su papel en la industria alimentaria, las enzimas son fundamentales para la salud humana. Facilitan la digestión y absorción de nutrientes, contribuyendo al bienestar general. La investigación sobre las enzimas digestivas y su suplementación en la dieta también ha demostrado ser beneficiosa para personas con deficiencias enzimáticas y trastornos digestivos, mejorando significativamente su calidad de vida.

En resumen, las enzimas son componentes indispensables en la química de los alimentos que afectan todos los aspectos de la producción, procesamiento y consumo de alimentos. La continua investigación y aplicación de conocimientos enzimáticos permitirá avances significativos en la industria alimentaria, promoviendo alimentos más seguros, saludables y accesibles para la población mundial.

CAPITULO 5. PIGMENTOS

5.1 Introducción

A través de los tiempos la alimentación humana ha ido evolucionando desde sus formas más primitivas, hasta convertirse en una alimentación más elaborada y selectiva, donde la preparación de los alimentos se desarrolla con la aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos, y la adición de diferentes ingredientes y compuestos complementarios para mejorar el sabor, la textura, el aspecto y la estabilidad de los mismos (Calvo et al., 2020).

Entre estos compuestos complementarios se encuentran los llamados aditivos, los cuales son sustancias que, aunque no son empleadas como ingredientes característicos de los alimentos y pueden o no presentar valor nutricional, son agregados de forma intencionada a productos alimentarios con el fin de preservar o mejorar alguna propiedad.

Los pigmentos o colorantes son parte de estos compuestos complementarios que aportan color a los alimentos y se encuentran en la lista de los aditivos permitidos y más frecuentemente usados en los procesos de alimentos; su adición intencionada tiene el propósito tecnológico de restituir el color de un alimento, que se haya perdido en el proceso de elaboración o, mejorar las propiedades organolépticas, sensoriales y de presentación de los mismos (Calvo, 2018).

Lo anterior en vista que, el color es el primer atributo que es percibido en un producto alimenticio a través del sentido de la vista, por lo que, también es el primero que se evalúa o juzga de un alimento. Este atributo es asociado directamente a la calidad de los alimentos, es decir que, la sensación visual del color influye significativamente en la percepción de las características organolépticas. Muchas veces, el color también es asociado a sabores y olores específicos convirtiéndose en un criterio de aceptación o rechazo en la selección de un producto alimentario. De allí, la importancia del color de un alimento y la necesidad de adicionar pigmentos para hacer que el producto sea más atractivo al consumidor; sea que se

está recuperando, potenciando o unificándola coloración original luego del proceso de elaboración (Plaza Lafuente, 2019).

Existe una diversidad de términos y nombres asignados a las sustancias químicas encargadas de impartir color, entre los cuales destacan colorante, pigmento, laca, etc. Esto ocasiona cierta confusión, pues se llega a concluir que el nombre viene en función del origen, es decir, pigmento si es de origen natural y colorante si es de origen sintético o artificial, pero esto no siempre es de esta manera (Marcano, 2018). Ahora bien, según autores como Calvo (2018), para que una sustancia sea considerada como pigmento o colorante, además de presentar color o desarrollar el mismo a través de una reacción química, este debe poder ser transferido al sustrato al cual es aplicado.

En este mismo contexto, Martín & Viniegra (2023), establecen que los colorantes son compuestos orgánicos que, al ser aplicados en un sustrato, como una fibra textil, papel, cuero o alimento, por ejemplo, confieren un color permanente al producto, siendo empleado en forma de disolución. Por otra parte, los mismos autores definen a los pigmentos como partículas de color sólidas e insolubles en el sustrato donde se aplican, y pueden ser de naturaleza biológica, orgánica, organometálica, y hasta inorgánica cuando provienen de metales y minerales; además explican que estos se diferencian principalmente de los colorantes en la manera en que son aplicados, antes que por su constitución química o por la forma en que interaccionan con la luz. En cuanto a la clasificación de los pigmentos Plaza (2019), establece que según la procedencia pueden ser clasificados en pigmentos de origen natural, y estos a su vez pueden ser de fuente vegetal, animal o mineral, y pigmentos de origen artificial o sintético. Los de origen natural pueden encontrarse intrínsecamente en una matriz, y los segundos deben ser modificados física o químicamente.

Debido a la importancia y extensión del tema, y a la necesidad de estudiar profundamente el mismo, en este capítulo se desarrolla sistemática y ordenadamente los tópicos más relevantes. Iniciando con la definición, estructura, función y clasificación de los pigmentos; seguidamente, se profundizará en el

estudio de los pigmentos naturales, su definición, sus tipos y los cambios estructurales que estos sufren; y finalmente, se estudiarán los pigmentos sintéticos, la definición y tipos de estos.

5.2 Pigmentos

Antes de definir lo que es un pigmento, es oportuno establecer el concepto de aditivo, pues según la definición dada por la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición [AECOSAN] (2015), estos son sustancias utilizadas con diferentes propósitos para la elaboración de productos alimentarios, propósitos entre los cuales se mencionan: conservación, edulcoración y coloración. Además, en la definición de aditivos alimentarios se establece que generalmente estos no son consumidos como un alimento en sí mismo, ni son utilizados como ingredientes fundamentales de los productos alimentarios, sea que posean o no algún valor nutricional, sino que son adicionados intencionalmente al alimento con un fin tecnológico específico (Calvo, 2018).

De acuerdo a la definición antes planteada, y a legislaciones nacionales e internacionales, como el Reglamento 1333/2008 del Parlamento Europeo, en su artículo 8, los pigmentos se encuentran dentro de la denominación de aditivos alimentarios, y su utilización debe estar regida por las normas de cada país, proceso y alimento donde sean empleados.

5.2.1 Definición de pigmentos.

Ahora bien, para establecer un concepto del término pigmento, se tiene que Sanjurjo (2017), lo define como todas aquellas sustancias que pueden suministrar color a un material, gracias a que se encuentran en forma de partículas finas y al dispersarse en un medio líquido, proporcionan color; aunque se acostumbra utilizar indistintamente colorante o pigmento, este último, es decir, el pigmento, está referido a la sustancia que puede originar colorantes a través de un proceso que modifique

sus moléculas, bien sea por tratamientos físicos, o utilizando sustancias coadyuvantes del color.

En este contexto, Marcano (2018), establece que, anteriormente se consideraba que los colorantes eran compuestos orgánicos cuyos cromógenos no eran solubles, mientras que el término “pigmento” se reservaba para sustancias inorgánicas coloreadas. Sin embargo, en la actualidad, se identifican como pigmentos a compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, dependiendo principalmente de su origen; y se establece que la diferencia clave entre pigmentos y colorantes radica en su solubilidad y métodos de aplicación, siendo que los pigmentos son insolubles en la mayoría de los solventes, mientras que los colorantes son solubles en agua y otros solventes hidroxílicos, como el alcohol, el propilenglicol y la glicerina. Por lo tanto, se utilizan los pigmentos como dispersiones para colorear y opacar, mientras que los colorantes se emplean como disoluciones durante el proceso de coloración.

Otra definición de pigmentos establece que esta palabra proviene del latín *pigmentum* y está referida a todo material que transforma el color de la luz reflejada como resultado de una absorción de tipo selectiva del color; tratándose de un proceso distinto a la fosforescencia, a la fluorescencia y a otras luminiscencias, que a diferencia de los pigmentos, es el propio material quién emite la luz (Flores Zavala, 2021).

De manera que, el color en los vegetales es el resultado de la presencia de propiedades de transmisión y de emisión, las cuales al relacionarse, combinan las longitudes de onda de la luz que son emitidas desde un cuerpo, se aceptan por el ojo humano y de allí se transmite al cerebro, donde su color es interpretado; es decir que, la estructura interior de las moléculas conocidas como cromóforos le permite adherirse a otras sustancias, incorporando longitudes de onda e impartiendoles color; luego, el color transmitido por el vegetal puede determinarse mediante la fracción de luz que puede ser absorbida en un espectro UV-Vis (Amchova et al., 2015).

Por otro lado, se sabe que los pigmentos son los responsables de los colores primarios que presentan los vegetales, y estos colores van a depender directamente del pigmento que predomine o de la combinación de diferentes pigmentos; en cambio, si el vegetal se observa de color blanco, se debe a la ausencia de pigmentos (Gómez Pareja, 2020).

5.2.2 Propósito de la adición de pigmentos

Es importante señalar que, entre los propósitos fundamentales de la utilización de pigmentos en alimentos, Lucero & Muñoz (2019), establecen los siguientes:

- Reestablecer el color del alimento original, cuando algún proceso tecnológico o el tiempo de almacenamiento lo haya degradado o destruido.
- Corregir la uniformidad y las variaciones del color, así como también la intensidad de este.
- Aumentar la intensidad del color característico del alimento, cuando se presente débil, de tal forma que resulte con bajo atractivo para los consumidores.
- Suministrar al alimento un color que lo distinga, aumente su atractivo y mejore su apariencia.

5.2.3 Características de los pigmentos

De acuerdo a Martín & Viniestra (2023), entre las particularidades que presentan los pigmentos y que influyen directamente en la funcionalidad y estabilidad de los mismos se tienen las siguientes:

- Ser inocuo, esto es que no sea dañino a la salud de los consumidores.
- Tener afinidad con los alimentos a colorear.
- Presentar gran poder o fuerza de coloración, a fin de emplear la mínima cantidad posible.
- Presentar buena dispersabilidad.

- Ser de bajo coste.
- Poseer facilidad para incorporarse a los productos a los que se adicionan.
- Conservar su estabilidad frente a factores como la luz, los cambios de temperatura, el calor, los cambios de pH, los agentes oxidantes y los agentes reductores.
- No transmitir ningún olor o sabor, para no causar modificación a las propiedades organolépticas del alimento.

5.2.4 Factores que alteran la estabilidad de los pigmentos

Entre los principales factores que causan alteraciones en la estabilidad de los pigmentos y que pueden llegar a ocasionar el deterioro de estos, se encuentran la luz, la temperatura y el pH, pues no todos los rangos de pH son favorables a la estabilidad pigmentaria; además, la presencia de algunos azúcares, aldehídos, compuestos metálicos, ácidos y peróxidos, así como también ciertos microorganismos causan alteración en estos, para lo cual es necesario recurrir a la adición de preservantes, o a procesos de pasteurización y/o liofilización.

5.2.5 Estructura química de los pigmentos.

Las moléculas llamadas “pigmentos” tienen su origen en diferentes fuentes, sin embargo, todas presentan la propiedad de absorber las longitudes de onda emitidas por la luz blanca y rechazar otras longitudes, que son las que los ojos pueden percibir; estas moléculas cuando son de origen natural se encuentran dentro de las células de vegetales y animales.

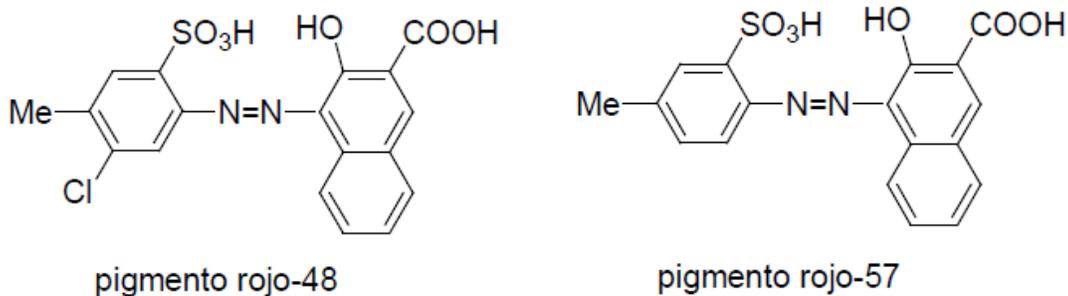


Figura 27. Estructura de un pigmento.

Nota: Tomado de: <https://www.eii.uva.es>

La estructura química general de estos aditivos alimentarios establece que los grupos funcionales cromóforos y auxocromos que posea cada pigmento son los responsables de generar el color y a medida que la complejidad de estos aumenta, el color se oscurece más. De acuerdo a Martín & Viniegra (2023), para nombrar estos grupos funcionales se utilizan los términos cromóforos y auxocromos de la siguiente manera:

- Cromóforos (chromos = color; foro = portador): estos grupos son los responsables de producir el color.
- Auxocromos (auxo = aumentar; chromos = color): son los responsables de intensificar la actividad de los cromóforos.

Además, se tiene que los grupos cromóforos están unidos a un grupo aromático tipo bencénico, que al ser modificado da origen a otros colores o tonos; y los grupos auxocromos no dan color por sí solos, pero que al unirse un cromóforo logran aumentar la intensidad de los colores (Lucero Bustos & Muñoz Betancourt, 2019).

5.2.6 Función de los pigmentos.

Aunque la función principal de los pigmentos alimentarios es conferir color a los alimentos o, a cualquier otro material donde se utilicen, también se emplean para restaurar un color perdido por el cambio en las condiciones (aire, luz, temperatura), del tiempo de almacenamiento o de la aplicación de procesos tecnológicos, así como también intensificar un color para lograr que el alimento se vea más apetecible, reforzar atributos de calidad, mejorar las características sensoriales de los alimentos y proteger las vitaminas, aromas y otros componentes sensibles a la luz (Kraser & Hernández, 2020).

5.2.7 Clasificación de los pigmentos.

De acuerdo a autores como Calvo (2018), Lucero & Muñoz (2019), Pino & Vergara (2022) y Martín & Viniegra (2023), existen diferentes clasificaciones de los pigmentos alimentarios, entre las que se encuentran:

- Por su composición química: los pigmentos pueden ser divididos en orgánicos y son provienen principalmente de animales, plantas y microorganismos (constituidos por un compuesto cromogénico orgánico, diluido en un soporte inerte como sustrato o base), o inorgánicos, provenientes de minerales (constituidos por sales y óxidos).
- Por su origen: esta clasificación abarca los pigmentos naturales, los cuales a su vez se subclasifican en (i) vegetales, al ser extraídos de una sustancia vegetal; (ii) animales, cuando se extraen de animales, (iii) microbianos, cuando son sintetizados por diferentes especies de levaduras, bacterias, hongos y algas, y (iv) minerales, cuando se originan de una fuente mineral; los pigmentos sintéticos, cuando se trata de productos que se obtienen por síntesis química, careciendo de su equivalente natural, o de pigmentos naturales que luego son modificados por procesos químicos o físicos; y finalmente, los pigmentos híbridos, los cuales son aquellos que resultan de la combinación de pigmentos orgánicos e inorgánicos.

- Por su solubilidad: en este grupo se encuentran los pigmentos hidrosolubles, los cuales se solubilizan en el agua, y los liposolubles que son solubles solo en grasas.
- Por su forma de presentación y uso: la cual puede ser líquida, en polvo, y en gel.
- Por su efecto: estos se encuentran mayormente dentro de los pigmentos inorgánicos y pueden ser a su vez clasificados como de tipo fluorescentes, fosforescentes, perlescentes y metálicos como el bronce en polvo, los aluminicos y las purpurinas.

5.3 Pigmentos naturales

Actualmente, los cada vez más exigentes requisitos legales y la conciencia hacia lo natural de los consumidores, han ocasionado que las industrias se declinen por prescindir de componentes sintéticos en los productos alimentarios o, sustituir estos por componentes de origen natural, de allí que, los estudios recientes acerca de los pigmentos alimentarios se han centrado en la rentabilidad y en la producción de pigmentos naturales o de origen biológico (Ahmad et al., 2022). Estos pigmentos tienen las ventajas de que pueden ser obtenidos de vegetales, animales, microorganismos, algas, hongos y minerales, además de poseer baja o nula toxicidad y estar dentro de los productos amigables con el ambiente (Zalyhina et al., 2021)

En este mismo contexto, Martínez et al (2016), afirma que debido a que el color es un parámetro significativo que influye en la calidad de un producto y en la decisión de los consumidores respecto al consumo de estos, se han realizado investigaciones acerca de la toxicidad de los pigmentos sintéticos, pues existe un interés destacado en sustituir la utilización de estos, por pigmentos de origen natural que posean la misma fuerza de coloración y que sean de bajo costo de producción.

5.3.1 Definición.

De acuerdo a la definición planteada por Jácome et al (2023), los pigmentos naturales son compuestos que provienen de fuentes naturales o biológicas y generan color a los materiales donde se adicionan. Estos pueden ser solubles o insolubles, y al ser triturados se mantienen suspendidos, pero con el uso de aglomerantes. La generación de color es, principalmente, por causa de la estructura específica de estos compuestos, la cual captura la energía y la excitación que producen en el orbital principal, los electrones que se encuentran presentes en el orbital exterior; la energía que no es absorbida, se refleja luego como radiación o refracción, permitiendo así la visualización de las imágenes con color.

Por otro lado, según Llamuca (2018), los pigmentos naturales son compuestos que se encuentran en la naturaleza, en una gran variedad de organismos vivos, como animales y plantas, y que presentan la particularidad de poder transmitir color de acuerdo a su esencia. Cuando estos pigmentos se extraen de plantas, principalmente se pueden encontrar en hojas y flores, pero también en el tronco, en las raíces y hasta en los frutos, ocupando un alto porcentaje en la composición del vegetal; además, estos pigmentos se pueden obtener en forma de polvo o líquido y presentan una fuerza teñidora alta respecto a los materiales alimentarios que se van a colorear (Flores, 2021).

Lo cierto es, que actualmente se ha descubierto que existe gran variedad de seres vivos que producen pigmentos, siendo las plantas, las más comunes; sin embargo, el pigmento rojo más utilizado deriva de un insecto y es el rojo o carmín de cochinilla; otros organismos, como los hongos, algas y bacterias, producen pigmentos de interés en la industria alimentaria y se ha demostrado que son de excelente poder tintóreo.

5.3.2 Tipos de pigmentos naturales.

Como se refirió anteriormente, los pigmentos naturales, se clasifican, también de acuerdo a su origen, en 4 tipos:

- (i) Vegetal: cuando son extraídos de una planta, cualquiera sea la parte. Estos se pueden encontrar según su composición química, en 4 categorías,

carotenoides, antocianinas, betalaínas y clorofila (Ballacey, 2020). Ejemplo: la curcumina de la cúrcuma.

Los pigmentos vegetales son moléculas de color que se encuentran en una amplia variedad de plantas. Según su estructura química, se pueden clasificar en cinco familias principales: tetrapirroles (1), como la clorofila; carotenoides (2), como el β -caroteno; flavonoides (3), como las antocianinas; compuestos fenólicos (4), como la teaflavina; y compuestos N-heterocíclicos (5), como las betalaínas (Arrázola et al, 2021); cada familia tiene numerosos miembros, sin embargo, en este contexto, nos centraremos en describir, más adelante, los pigmentos vegetales de las clorofilas, los carotenoides, las betalaínas, las antocianinas y la curcumina.



Figura 28. Pigmentos de origen vegetal.

Nota: Tomado de: <https://www.eii.uva.es>

- (ii) Animal: cuando se extraen de seres pertenecientes al reino animal. Ejemplo: el carmín de la cochinilla (Portillo et al, 2019).

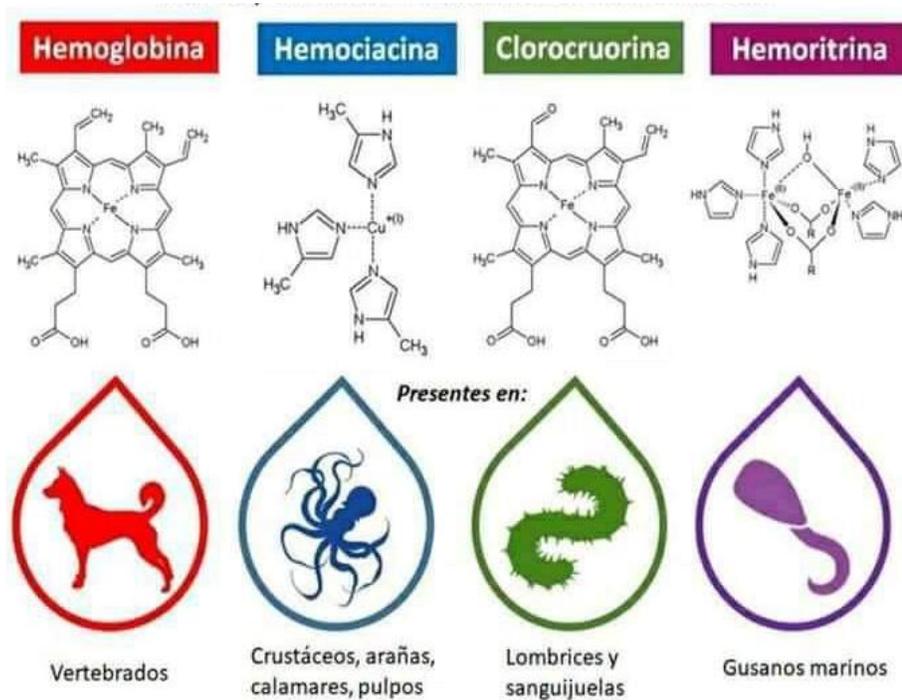


Figura 29. Pigmentos de origen animal.

Nota: Tomado de: <https://www.eii.uva.es>

- (iii) Microbianos: cuando se obtienen a partir de la síntesis realizada por levaduras, bacterias, hongos o algas. Ejemplo: la ficocianina de las algas (Portillo et al, 2019).
- (iv) Minerales: cuando se originan de una fuente mineral. Estos pueden clasificarse en cuatro tipos: pigmentos negros, pigmentos blancos, pigmentos de color y pigmentos especiales (Flores, 2021). Ejemplo: el óxido de hierro.

5.3.4 Pigmentos Naturales más utilizados en la industria alimentaria

Aunque el principal uso de los pigmentos naturales es el de proporcionar color a la materia, en este caso alimento, al que se adiciona, se ha demostrado que estos también proporcionan otros beneficios a los productos pigmentados, y a los consumidores de dichos productos (Jácome et al, 2023). Entre los beneficios adicionales más notables se encuentran que poseen alta concentración de antioxidantes, compuestos que son muy importantes a la salud y a los alimentos, pues presentan propiedades anticancerígenas, antimicrobianas y algunos son cardioprotectores.

De acuerdo a Jácome et al (2023), entre los pigmentos naturales más utilizados en los alimentos se encuentran los siguientes:

- Antocianina: se extrae de diversos vegetales, específicamente de las vacuolas de las células, donde se produce a partir de la transformación de la clorofila, proporciona los colores rojo, púrpura y azul; es utilizada en productos ácidos como helados de cítricos, jaleas, salsas, productos de confitería y otros. Se le atribuyen propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y antioxidantes.
- Betalaínas: se pueden extraer de un grupo muy reducido de plantas y frutos, con colores rojo-púrpura y amarillo-anaranjado. Sus aplicaciones más frecuentes en la industria alimentaria son en productos de confitería, helados, yogurt, entre otros. Algunas investigaciones arrojan que presentan propiedades antioxidantes, que pueden disminuir el estrés oxidativo corporal y el riesgo a padecer enfermedades degenerativas relacionadas con la edad.
- Carbón vegetal: se obtiene por carbonización, en condiciones controladas, de materia vegetal como cáscaras de coco y otros materiales naturales, resultando un polvo negro que se reduce a partículas de tamaño muy fino, aproximadamente menor a 5 micrones. Se utiliza en forma de jarabes de glucosa y en suspensiones viscosas. Además, por ser un pigmento muy estable es utilizado en productos de confitería y derivados lácteos.

- Carmín: es de un color rojo intenso, se obtiene del ácido carmínico extraído del insecto *Dactylopius coccus Costa* o cochinilla. Es muy utilizado como pigmento en la industria alimentaria para colorear refrescos, bebidas, jarabes, helados, caramelos, dulces, galletas, salsas, conservas de vegetales, alimentos deshidratados, vegetales encurtidos, productos lácteos y embutidos. Se le atribuyen propiedades antioxidantes, con aplicaciones en la industria cosmética y farmacéutica.
- Carotenoides: se extrae de una gran variedad de fuentes vegetales, son polímeros terpénicos solubles en lípidos entre los que se cuentan el α -caroteno, el β -caroteno, la luteína y la zeaxantina; se utilizan en productos como la margarina, la mantequilla, el queso amarillo, el queso fundido, helados, salsas, productos de panadería y pastelería, y para reforzar el color amarillo en productos que llevan huevos como ingrediente. Son precursores de la vitamina A y se han relacionado con la disminución del riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, cáncer y enfermedades oculares.
- Clorofila: este pigmento se extrae principalmente de hojas de verduras y frutas verdes. Es muy utilizado en la fabricación de helados, derivados lácteos, salsas, bebidas, aceites, conservas vegetales, dulces, y bebidas. Presenta propiedades oxigenantes, favorece la eliminación de metales pesados y la regeneración de la flora bacteriana de intestinos.
- Curcumina: este pigmento proporciona un color amarillo intenso, se extrae de la cúrcuma y es el ingrediente principal del curry. Se utiliza más comúnmente en derivados lácteos, productos de almidones, helados, salsas, cereales y condimentos. Se le atribuyen propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, reduciendo los efectos de enfermedades como la artritis, el síndrome metabólico, la ansiedad y los niveles de grasa en sangre, gracias a su contenido de polifenoles.

5.3.5 Ventajas y Desventajas de los Pigmentos Naturales:

De acuerdo a Crespo (2020), los pigmentos naturales presentan unas características particulares, las cuales en algunos aspectos se consideran ventajas y en otros, desventajas; a continuación, alguna de estas:

Ventajas:

- **Ecofriendly:** los colorantes naturales son más ecológicos, no tóxicos y biodegradables, ya que se derivan de fuentes renovables como plantas, hongos o animales.
- **Seguros:** se pueden elaborar a partir de verduras y frutas, siendo casi no tóxicos para los humanos. Por ejemplo, la remolacha produce un tinte rojo que se utiliza para colorear alimentos.
- **Ricos en nutrientes:** contienen sustancias beneficiosas como antocianinas, flavonoides y carotenoides, que son esenciales para el cuerpo humano.

Desventajas:

- **Falta de intensidad:** A veces carecen de la fuerza tintórea necesaria para lograr colores vibrantes.
- **Posibles sabores y olores indeseados:** algunos colorantes naturales pueden afectar el sabor y aroma del producto final.

5.3.6 Cambios estructurales de los Pigmentos Naturales.

Los pigmentos naturales, de acuerdo a lo planteado por Orellana (2020), tienen una estructura única que determina su función en la naturaleza, sin embargo, pueden presentar cambios estructurales que se relacionan con su composición química y su capacidad para absorber y reflejar la luz. Cada pigmento tiene características particulares que influyen en su color, solubilidad y propiedades biológicas, y al experimentar cambios en su estructura debido a diversos factores,

sus propiedades pueden cambiar. Algunos de estos cambios, según Damodaran & Parkin (2019), son:

-Isomerización: los pigmentos pueden existir en diferentes isómeros, que son moléculas con la misma fórmula química, pero con disposiciones espaciales distintas. Por ejemplo, las clorofilas cambian su estructura luego de sufrir una isomerización.

-Oxidación y reducción: la adición o eliminación de electrones puede alterar la estructura de los pigmentos. Por ejemplo, reacciones redox causan la conversión de carotenoides a xantofilas.

-Conjugación de dobles enlaces: la conjugación de dobles enlaces en la estructura de los pigmentos afecta su absorción de luz, pues cuanto mayor sea la conjugación, más largo será el rango de absorción.

-Sustituciones químicas: las sustituciones de átomos o grupos funcionales pueden modificar la estructura de los pigmentos, esto sucede por ejemplo en la bixina, pues su compleja estructura compleja se debe a sustituciones químicas.

5.4 Pigmentos sintéticos

Los pigmentos sintéticos de alimentos fueron originalmente derivados del alquitrán de hulla, que proviene del carbón, sin embargo, surgieron muchos críticos de estos colorantes artificiales de alimentos que se apresuraron a señalar esto; hoy en día, la mayoría de los pigmentos sintéticos alimentarios son derivados del petróleo, o aceite crudo, y algunos críticos argumentan que el consumo de aceite no es mejor que comer carbón. No obstante, los productos finales se someten a rigurosas pruebas para asegurarse de que no contienen trazas del petróleo inicial. Un ejemplo de colorante o pigmento sintético que se origina del petróleo es Azul No. 2, o indigotina, el cual es una versión sintética del colorante añil a base de plantas, utilizado para dar color a los pantalones de mezclilla o *blue jeans* (Tierra Totoy, 2018).

Los pigmentos o colorantes artificiales, como generalmente se les llama, están sujetos a diferentes y estrictas regulaciones por parte de las

autoridades sanitarias y de seguridad alimentaria de cada país e internacionalmente. Estas regulaciones son generadas por expertos y se basan en el análisis de datos sobre los efectos del consumo de colorantes. De esta manera, se establecen una ingesta diaria permisible con un amplio margen de seguridad antes de aprobar cualquier aditivo (Ortiz Melo, 2021).

Dentro del grupo de estos colorantes se clasifican aquellos pigmentos que no se encuentran en la naturaleza y deben ser sintetizados mediante procesos de síntesis química, por lo que se dice que los pigmentos sintéticos o artificiales son compuestos químicos creados en laboratorios mediante reacciones térmicas o químicas entre varias materias primas. Estos pigmentos, a menudo, se utilizan como potentes colorantes para realzar colores en diversas aplicaciones, a pesar de que algunos han sido prohibidos o dejaron de usarse en la industria alimentaria; así es como los colorantes sintéticos, como el azul brillante FCF la azorrubina el amarillo oca FDF, la tartrazina, el verde S y el negro brillante BN, siguen siendo los más utilizados en productos alimenticios azucarados y bebidas (Marcano, 2018).

5.4.1 Definición.

De acuerdo a lo establecido por Ortíz (2021), un pigmento sintético es cualquier compuesto químico obtenido por síntesis química, que es capaz de impartir color por sí mismo, a medicamentos, alimentos o cosméticos; es decir, es una sustancia utilizada como aditivo en un alimento u otro producto, con el fin de recuperar el color perdido en un proceso industrial, intensificar el color original o proporcionar un color más atractivo al material donde se aplica.

Por otro lado, Kraser & Hernández (2020), establecen que los colorantes sintéticos son aquellos que se producen mediante síntesis química y no tienen un equivalente natural. Aunque a menudo se les considera negativamente, se utilizan ampliamente para mejorar la apariencia de muchos productos alimenticios. Se han realizado numerosos estudios en términos de toxicidad, efectos secundarios y seguridad, así como el impacto en la salud de estos pigmentos sintéticos.

5.4.2 Tipos de Pigmentos Sintéticos.

Los pigmentos sintéticos se clasifican principalmente en pigmentos azoicos y pigmentos no azoicos (Crespo, 2020). Los pigmentos azoicos, deben su color al grupo azo ($-RN=N-R'$), conjugado con anillos aromáticos por ambos extremos, donde R y R' pueden ser arilos o alquilos. Estos colorantes deben su vibrante color a la π -deslocalización, especialmente en los tonos rojos, naranjas y amarillos; por lo que, se utilizan ampliamente como colorantes. Algunos ejemplos comunes son el amarillo 5 o tartracina, el amarillo 6 o amarillo crepúsculo, el rojo 2 o amaranto, el rojo 40 o rojo allura y el rojo 3 o eritrosina. Además, los colorantes azoicos también se emplean en pinturas y textiles debido a sus propiedades colorantes y resistencia a la luz. Sin embargo, algunos de estos compuestos pueden ser mutagénicos y se han relacionado con el carcinoma de células basales (Ortíz, 2021).

De acuerdo a Rohrig (2015), algunos colorantes azoicos se han prohibido debido a preocupaciones sobre la salud, sin embargo, otros siguen siendo utilizados en la industria alimentaria. Algunos ejemplos de colorantes azoicos comúnmente empleados incluyen:

- Tartrazina: también conocida como *Yellow 5*, es un colorante amarillo utilizado en bebidas, postres y productos horneados.
- Amarillo anaranjado S: se emplea para dar color a productos como helados y refrescos.
- Azorrubina: se trata de un colorante rojo utilizado en alimentos como mermeladas y gelatinas.
- Amaranto: este pigmento proporciona un tono rojo o violeta en productos como caramelos y licores.
- Rojo Ponceau 4R: es ampliamente utilizado en alimentos como embutidos y productos de panadería.
- Amarillo crepúsculo: se emplea en alimentos procesados con un color amarillo oscuro, como las patatas fritas triangulares.

Por otra parte, se tienen los pigmentos sintéticos no azoicos, los cuales son aditivos que no contienen el grupo azo ($-N=N-$), sin embargo, se utilizan para dar color a los alimentos. A diferencia de los colorantes azoicos, que contienen el grupo azo ($-N=N-$), los no azoicos no tienen esta estructura. Algunos ejemplos de colorantes no azoicos son:

- Annatto: un colorante amarillo anaranjado derivado de las semillas del árbol annatto.
- Betacaroteno: un colorante amarillo anaranjado extraído de zanahorias, batatas y otras frutas y verduras de color naranja.
- Caramelo: un colorante marrón creado al colocar azúcar a ebullición.

Finalmente, es necesario señalar que, gracias a la facilidad de su síntesis y la versatilidad de su utilización, este grupo es el más importante de los pigmentos sintéticos, y a este pertenecen más de la mitad de los colorantes sintéticos (Marcano, 2018).

5.4.3 Ventajas y Desventajas de los Pigmentos Sintéticos.

Aunque se pudiera pensar lo contrario, existen ventajas de los pigmentos sintéticos respecto a los naturales, algunas de las cuales se presentan a continuación (Rohrig, 2015):

Ventajas:

- Mayor durabilidad o vida útil en comparación con los naturales del mismo color.
- Amplia gama de colores, pues en un laboratorio, no hay límites para la variedad de colores que se pueden producir artificialmente.
- Los pigmentos sintéticos se pueden producir en masa, siendo el costo de la producción más bajo que el de la producción de igual cantidad de pigmento natural.

Desventajas:

- La Administración de Drogas y Alimentos de Estados Unidos, la cual es referente mundial, solo ha aprobado siete colorantes sintéticos para uso generalizado en alimentos.
- Ciertos grupos de defensores, como el Centro para la Ciencia en el Interés Público, abogan por la prohibición total de los pigmentos o colorantes sintéticos basados en la poca evidencia que sugiere que estos colorantes incitan a los niños a consumir alimentos poco saludables.
- Algunas investigaciones sugieren que estos aditivos tienen efectos cancerígenos y aumentan la incidencia de algunas otras enfermedades.

Los pigmentos son los compuestos responsables del color que presentan la mayoría de los productos alimenticios. Estos, tienen un valor importante en la industria alimentaria, porque les aportan a los diferentes productos características de calidad y apetecibilidad, frente a los consumidores; además, algunos están siendo utilizados por otras propiedades funcionales a parte del aporte de color, como antioxidantes y conservantes.

Por otra parte, entre las características que presentan los pigmentos y definen su utilización en alimentos se encuentran que deben ser inocuos, es decir que no causen daño alguno a la salud de los consumidores, que tengan afinidad con los productos alimentos que van a ser coloreados, que presenten una gran fuerza de coloración, para adicionar la mínima cantidad posible de este a los productos, que tengan buena dispersabilidad en los productos, que sean de bajo coste, que se incorporen con facilidad a los productos a colorear, que sean estables frente a factores como la luz, los cambios de temperatura, el calor, los cambios de pH, los agentes oxidantes y los agentes reductores y no deben transmitir ningún olor o sabor, para no causar modificación a las propiedades organolépticas del alimento.

Existen diversas clasificaciones de los pigmentos, pero muchos autores coinciden en que las más importantes son: según su origen, según su composición química, según su solubilidad, según su presentación y según su efecto. Siendo que, de acuerdo al origen, los pigmentos pueden a su vez ser clasificados en: naturales, sintéticos e híbridos.

Finalmente, se puede decir que los pigmentos desempeñan un papel crucial en la industria alimentaria, en aspectos como la apariencia, el atractivo y la percepción de los alimentos. Estos compuestos colorantes se utilizan para realzar el aspecto visual de productos como dulces, bebidas, productos horneados y alimentos procesados en general. En esta área, los pigmentos naturales y sintéticos se emplean para lograr colores vibrantes y uniformes, siendo su consumo regulado por diversas legislaciones para garantizar su seguridad y uso adecuado en los alimentos que se consumen diariamente.

En conclusión, los pigmentos desempeñan un papel vital en la química de los alimentos, no solo por su impacto visual, sino también por sus propiedades nutricionales y funcionales. A lo largo de este capítulo, hemos analizado cómo los pigmentos naturales y sintéticos influyen en la apariencia, estabilidad y calidad de los alimentos.

- Impacto Visual y Atractivo de los Alimentos

Los pigmentos son responsables de los colores vibrantes que hacen que los alimentos sean visualmente atractivos. La presencia de colores vivos puede influir en las percepciones y preferencias de los consumidores, aumentando la aceptabilidad y el disfrute de los alimentos. Comprender la química de los pigmentos permite a los científicos y productores de alimentos manipular y mantener estos colores, asegurando que los productos sean visualmente atractivos y estéticamente agradables.

- Propiedades Nutricionales y Antioxidantes

Además de su impacto visual, muchos pigmentos naturales poseen propiedades nutricionales significativas. Pigmentos como los carotenoides,

flavonoides y antocianinas actúan como antioxidantes, protegiendo las células del daño oxidativo y contribuyendo a la prevención de enfermedades crónicas. La investigación en química de los alimentos ha destacado la importancia de estos pigmentos en la promoción de la salud, impulsando el desarrollo de alimentos funcionales y nutracéuticos que mejoran el bienestar de los consumidores.

- **Estabilidad y Procesamiento de los Pigmentos**

La estabilidad de los pigmentos en los alimentos es un aspecto crítico que afecta la calidad del producto final. Factores como la luz, el pH, la temperatura y la presencia de otros componentes pueden influir en la degradación de los pigmentos. A través de la comprensión de los mecanismos de estabilidad y degradación, los científicos pueden desarrollar métodos para proteger y preservar los colores naturales de los alimentos durante el procesamiento y almacenamiento, asegurando que los productos mantengan su atractivo visual y valor nutricional.

- **Innovación y Aplicación de Pigmentos Sintéticos**

Además de los pigmentos naturales, el desarrollo de pigmentos sintéticos ha permitido una mayor versatilidad y control en la coloración de los alimentos. Estos pigmentos, diseñados para ser seguros y estables, ofrecen una solución a las limitaciones de los pigmentos naturales, proporcionando una gama más amplia de colores y aplicaciones en la industria alimentaria. La química de los pigmentos sintéticos continúa avanzando, ofreciendo nuevas oportunidades para la innovación y mejora de productos alimentarios.

- **Perspectivas Futuras**

Mirando hacia el futuro, la química de los pigmentos seguirá siendo un área de investigación dinámica y esencial en la ciencia de los alimentos. La demanda de alimentos atractivos y saludables impulsará la exploración de nuevos pigmentos naturales y sintéticos, así como la mejora de las técnicas de estabilización y aplicación. La colaboración interdisciplinaria será fundamental para abordar los desafíos y aprovechar las oportunidades que los pigmentos ofrecen en la creación

de alimentos que no solo sean nutritivos, sino también visualmente atractivos y placenteros.

En resumen, los pigmentos son componentes esenciales en la química de los alimentos, con un impacto profundo en la calidad, nutrición y aceptación de los productos alimenticios. La continua investigación y aplicación de conocimientos sobre los pigmentos permitirá avanzar en la ciencia de los alimentos, ofreciendo soluciones innovadoras para satisfacer las necesidades y preferencias de los consumidores.

CAPITULO 6. CAMBIOS QUE OCURREN EN LOS ALIMENTOS

6.1 Introducción

La búsqueda y selección de alimentos ha sido una constante a lo largo de la historia humana, pero ha variado en diferentes sociedades, pues mientras que en algunas sociedades actuales es fácil acceder a alimentos, en otras sigue siendo un desafío conseguirlos. Sin embargo, la cultura siempre ha influido en nuestras elecciones alimenticias y la sociedad determina qué se considera comestible en un momento dado y los procesos sociales que intervienen en la transformación de un producto natural o procesado en alimento, de manera que nuestra forma de alimentarnos y los alimentos que consumimos está determinada por nuestra cultura, y los patrones alimenticios son el resultado de cambios evolutivos tanto biológicos como culturales, y ambos interactúan entre sí (Díaz et al., 2014).

La disponibilidad y calidad de los alimentos han experimentado cambios significativos, pues en las últimas décadas, con el avance de la tecnología y la globalización, los alimentos se han vuelto más accesibles y variados, pero también han surgido preocupaciones sobre su impacto en la salud humana y el medio ambiente. Hoy en día, la cantidad y calidad de los alimentos disponibles están determinadas únicamente por el poder adquisitivo de los diferentes grupos sociales; todo está al alcance en supermercados y otros establecimientos, incluyendo alimentos procesados y listos para consumir, de manera que, ya no es necesario buscar o recolectar los alimentos, ni tampoco hay que desplazarse largas distancias para obtenerlos (Montano, 2014)

Es evidente, que la industrialización de la producción de alimentos ha llevado a un aumento en la oferta de alimentos procesados y listos para consumir, los cuales suelen ser altos en grasas saturadas, azúcares añadidos y sodio, lo que ha contribuido al aumento de enfermedades crónicas como la obesidad, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares; es por esto que la industria alimentaria, consciente de la creciente preocupación de la sociedad por la salud, ha invertido

recursos significativos en investigación y desarrollo para mejorar la calidad nutricional y funcional de sus productos (Popkin, 2015). En este contexto, es importante destacar que los alimentos también contienen compuestos beneficiosos en su composición, y que sus características y sus interacciones les otorgan propiedades funcionales y estructurales; además, estas sustancias presentes en los alimentos, entre las que se encuentran los hidratos de carbono, las proteínas, los lípidos y las vitaminas, sufren modificaciones de algunos de sus constituyentes más significativos, que en algunos casos resultan favorables, pero en otros no tanto (Díaz et al., 2014).

Es importante resaltar que la constitución química de los alimentos puede verse alterada durante el procesamiento y el almacenamiento, y que procesos como la cocción, la fermentación o la adición de aditivos, pueden llegar a afectar la concentración de nutrientes, compuestos bioactivos y compuestos tóxicos, además de propiciar cambios en propiedades organolépticas y sensoriales como la textura, el color, la estructura, la aceptabilidad y la palatabilidad de los alimentos; como un ejemplo de esto, se tiene que la cocción puede provocar la pérdida de ciertas vitaminas sensibles al calor, mientras que la fermentación puede aumentar la concentración de compuestos beneficiosos como los probióticos y la congelación puede alterar la textura de las frutas y verduras, mientras que el secado puede cambiar el color y la consistencia de los productos cárnicos (Nishinari, 2020).

Además, debido a que los alimentos experimentan cambios en su constitución química, física, biológica y enzimática a lo largo de su procesamiento, almacenamiento y preparación, como se mencionó anteriormente, y que estos cambios pueden tener un impacto significativo en la calidad nutricional, la seguridad alimentaria y las propiedades organolépticas de los alimentos, la relación entre la industria alimentaria y la investigación en salud deben ir de la mano y priorizar el beneficio público y la calidad del conocimiento generado.

Por otro lado, también se tiene que los cambios biológicos que ocurren durante el almacenamiento de los alimentos, pueden propiciar la descomposición de los alimentos y la formación de compuestos no deseados; por ejemplo, la

actividad enzimática puede provocar la maduración de frutas y verduras, pero también puede causar la descomposición de alimentos frescos.

En resumen, los cambios en la constitución química, física y biológica de los alimentos son procesos dinámicos que ocurren a lo largo de su vida útil. Estos cambios pueden tener implicaciones importantes para la calidad y seguridad de los alimentos, así como para su valor nutricional y sus propiedades sensoriales, por lo que en la actualidad, las tecnologías emergentes están transformando la producción, procesamiento, transporte y distribución de alimentos, pues los cambios en los alimentos no solo afectan la salud y el medio ambiente, sino también la dinámica de la industria alimentaria.

En vista de la importancia y extensión del tema, y la necesidad de estudiar detalladamente el mismo, en este capítulo se desarrolla de forma sistemática y ordenada tópicos como los cambios físicos, químicos, biológicos y organolépticos de los principales grupos alimentarios, entre los que se encuentran los hidratos de carbono, las proteínas, los lípidos y las vitaminas. Además, se abordará el deterioro en los alimentos, así como también las causas, los efectos y los principales factores que influyen en el mismo.

6.2 Cambios físicos

6.2.1 Hidratos de carbono

Tal como se explica en otros capítulos, los hidratos de carbono son macromoléculas que están presentes en alta frecuencia en los alimentos desempeñando diferentes e importantes funciones en estos, y están conformados fundamentalmente por hidrógeno, carbono y oxígeno (Casado, 2020). La característica común de estos es que son polihidroxialdeido, alcoholes, cetonas o ácidos, tanto simples como polimerizados por uniones O-glucosídicas; denominándose azúcares a los hidratos de carbono mono y disacáridos (Luna Zumbado, 2019).

Cuando estos compuestos están presentes en los alimentos generan cambios en sus propiedades intrínsecas, tanto desde una perspectiva fisicoquímica,

donde ocurre disminución de la actividad del agua (a_w) y aparición de sustancias antioxidantes; como desde una perspectiva sensorial, observándose cambios en color, sabor y aroma de los alimentos. Gracias a que muchos de estos cambios dependen de reacciones químicas básicas, como las causadas por medios alcalinos o ácidos, así como las favorecidas por altas temperaturas, pueden ser controlados por medio de parámetros estandarizados, para que los mismos favorezcan el alimento (Arias-Giraldo & López-Velasco, 2019).

Los carbohidratos experimentan varios cambios físicos en función de su estructura y las condiciones a las que están expuestos. Algunos de estos cambios incluyen:

- Gelatinización: es un proceso que ocurre cuando los gránulos de almidón se calientan en agua, lo cual produce que estos se hinchen, volviéndose translúcidos y muy solubles, perdiendo birrefringencia y cristalinidad, y causando la lixiviación de la amilosa; los gránulos más grandes son los primeros en gelatinizarse debido a su mayor área de contacto y la velocidad de gelatinización depende de factores como el método de medición, la fuente u origen del almidón, la relación entre almidón y agua, y las heterogeneidades del gránulo.
- Caramelización: en este proceso físico-químico, también llamado pirólisis, los hidratos de carbono, como los azúcares, se descomponen y forman compuestos con sabor y color característicos al ser sometidos a elevación de la temperatura de manera tal que la misma alcance y sobrepase el punto de fusión del carbohidrato; para que este fenómeno ocurra se requieren temperaturas mayores a 120°C y valores de pH inferior a 3 o superiores a 9, además, puede ser acelerado con la adición de ácidos carboxílicos y sales (Arias-Giraldo & López-Velasco, 2019).
- Retrogradación del almidón: la retrogradación consiste en la precipitación del almidón de forma espontánea, con pérdida de solubilidad por efecto de la reasociación de las moléculas del almidón con formación de estructuras muy

compactas, esto implica que los gránulos de almidón vuelven a formar estructuras más rígidas, lo que puede afectar la textura de los alimentos.

- **Cristalización de azúcares:** la cristalización se produce cuando las moléculas de azúcares tienen tiempo suficiente para poder ordenarse, formando una estructura rígida y estable en el tiempo, en forma de cristales, la cual puede afectar la textura y calidad de los productos; esta estructura formada no sufrirá alteración mientras se mantengan las condiciones externas de presión, temperatura y humedad.

6.2.2 *Proteínas*

Los cambios en la estructura de las proteínas a través de procesos físicos, químicos o enzimáticos se realizan con el objetivo de mejorar las propiedades funcionales de las mismas; estas modificaciones pueden implicar alteraciones en la conformación y en la estructura primaria, secundaria o terciaria de las proteínas, mediante la interrupción y reconstrucción de enlaces covalentes y fuerzas secundarias; los cambios físicos de las proteínas principalmente se originan por la manipulación de las condiciones del ambiente en el que se encuentran, por ejemplo, cambios de pH o de temperatura (Polanco, 2017).

Ajustes en el tamaño de las partículas, eliminación de volátiles y de humedad: estos cambios generalmente se llevan a cabo mediante la aplicación de temperatura, dando lugar a mejoras en el sabor, la textura y el color, a la eliminación de olores desagradables, a la inactivación de enzimas indeseables, a la eliminación de factores antinutritivos, hemaglutininas y alérgenos, y retraso al de algunas reacciones, como la reacción de Maillard (Polanco, 2017).

- **Desnaturalización:** ocurre cuando las proteínas pierden su estructura original, es decir, la pérdida de su estructura nativa y, por ende, su capacidad biológica, como se observa en la Figura 30; los factores físicos que pueden provocar este proceso son los cambios de temperatura y de presión, pues el calentamiento de los alimentos puede provocar la inactivación de enzimas, inhibidores de proteasas, desnaturalización y precipitación de proteínas, por

lo que la desnaturalización de proteínas se utiliza en la conservación de alimentos para evitar la degradación por enzimas y oxidación. Además, este proceso es empleado para mejorar la digestibilidad de las proteínas, facilitando su absorción a nivel intestinal, así como también para inactivar lectinas vegetales que pueden afectar la absorción de nutrientes en el intestino, eliminar factores antinutritivos y mejorar la digestibilidad de legumbres, semillas y huevos (Cardona, 2020).

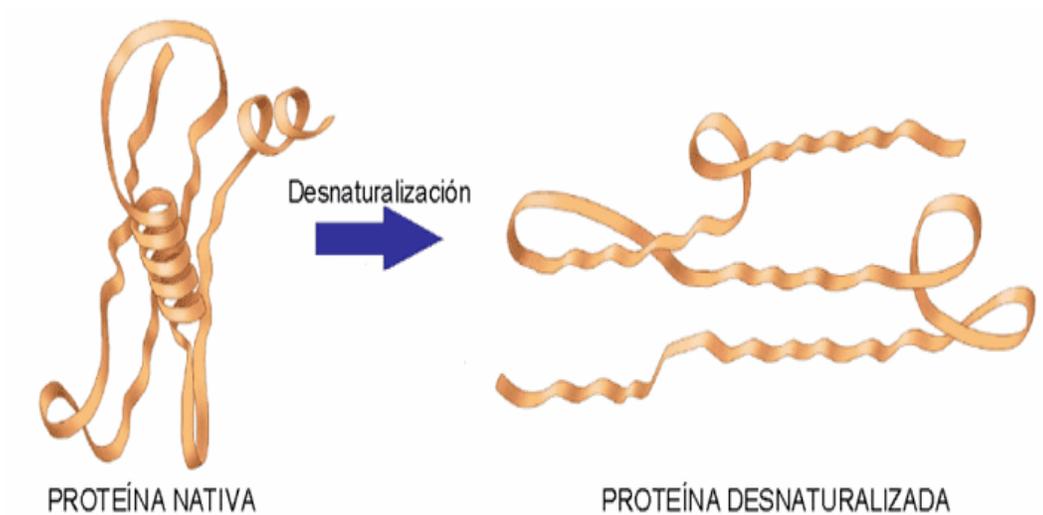


Figura 30. Desnaturalización de las proteínas.

Nota: Tomado de: <http://gori-gori.blogspot.com>

- Fraccionamiento: mediante procesos físicos como la ultrafiltración se logra el fraccionamiento de las proteínas, cambio que modifica la composición de los aminoácidos, enriqueciéndose con algunos componentes y eliminando otros. Su importancia se fundamenta en que este proceso permite determinar la calidad nutritiva de cada una de las fracciones proteicas que componen un

alimento, así como también sus propiedades funcionales y su aplicación en la industria alimentaria (Moscoso-Mujica et al., 2017).

6.2.3 Lípidos

La textura, sabor y demás propiedades sensoriales, así como también las propiedades físicas de los alimentos que contienen grasas y aceites comestibles dependen en gran medida del estado físico de dichas grasas. Por esta razón, es crucial comprender los fenómenos de cambio de fase que experimentan, especialmente la fusión y la cristalización (Higuera Pedraza, 2021)

- **Cristalización:** durante la cristalización, al enfriarse un aceite, parte de la grasa pasa de estado líquido a sólido, separándose ambos componentes; este proceso se refiere al enfriamiento de mezclas de lípidos que conduce a la formación de cristales líquidos que conforman una grasa sólida. El tipo de cristal que se forma depende de la conformación molecular de los ácidos grasos, la cantidad de sólidos grasos y las condiciones de enfriamiento (Higuera Pedraza, 2021).

6.3 Cambios químicos

6.3.1 Hidratos de carbono

De acuerdo a Arias & López (2019), los hidratos de carbono tienen la capacidad de intervenir en reacciones químicas promotoras de la aparición de colores y tonalidades de gran interés en la industria alimentaria, especialmente en la de confitería, pastelería, dulcería, panificación y lácteos; algunos de estos cambios son los siguientes:

- **Hidrólisis ácida:** es un proceso químico donde la celulosa y la hemicelulosa son transformadas en monosacáridos, gracias a las elevadas concentraciones de ácidos y a las altas temperaturas, las cuales provocan una degradación en los azúcares hemicelulósicos (Avalos Leandro & Benites Zelaya, 2022).

- Pardeamiento no enzimático (Reacción de Maillard): este cambio se debe a un conjunto muy complejo de reacciones químicas que ocurren cuando azúcares reductores (cetosas o aldosas) interactúan con grupos aminos libres, provenientes de aminoácidos o proteínas, estas transformaciones generan melanoidinas coloreadas, que varían desde un amarillo claro hasta un café muy oscuro e incluso negro. A través de la reacción de Maillard, se obtiene el característico color tostado de la carne cocinada o del pan horneado, y el proceso también contribuye a los sabores y aromas de los alimentos; esta reacción ocurre en condiciones alcalinas y a diferentes temperaturas (Igartúa & Sceni, 2023).
- Caramelización: es un proceso físico-químico en el que los carbohidratos, ya sea azúcares simples (monosacáridos o disacáridos) o jarabes de azúcar, se calientan en presencia de catalizadores ácidos o básicos. Durante este proceso, se forman compuestos de color marrón con un aroma característico a caramelo. El color caramelo se desarrolla mediante una cocción controlada de carbohidratos alimenticios a diferentes temperaturas y presiones, utilizando reactivos como ácidos, álcalis, sulfitos o compuestos de amonio. La caramelización ocurre a temperaturas superiores a 120°C y en un entorno ácido (pH inferior a 3) o alcalino (pH superior a 9). La adición de ácidos carboxílicos y ciertas sales acelera este proceso, y no requiere la intervención de proteínas, aminoácidos ni compuestos con grupos amino. Este fenómeno se observa en alimentos sometidos a cocción intensa, como productos de panadería, frituras y dulces a base de leche, desarrollándose de la siguiente manera (Arias & López, 2019):

Al calentar la sacarosa, ocurren diferentes cambios y se forman dos tipos de compuestos en general; por un lado, se produce la hidrólisis de la sacarosa, lo que genera los monosacáridos que la componen, es decir, glucosa y fructosa, por otro lado, se produce la deshidratación y dimerización simultánea de los productos formados.

En la dimerización, en primer lugar, se forma la isosacarosana ($C_{12}H_{20}O_{10}$) al eliminar una molécula de agua, luego, se forma la caramelana ($C_{24}H_{36}O_{18}$) al eliminar 4 moléculas de agua a partir de 2 moléculas de azúcar; en este punto, comienzan a aparecer trazas de sabor amargo que se pueden percibir, y posteriormente, se forma el carameleno ($C_{36}H_{50}O_{25}$), el cual es una sustancia oscura y amarga que resulta de restar 8 moléculas de agua a 3 moléculas de disacárido. Por último, se forma la caramelina o humina ($C_{125}H_{188}O_{80}$), que tiene un sabor desagradable y no es deseable, tal como se observa en la Figura 31.

Durante la caramelización también se obtienen compuestos de bajo peso molecular, livianos y aromáticos que son responsables del olor del caramelo; estos compuestos incluyen el hidroximetilfurfural (HMF), el hidroxiacetilfurano (HAF) y furanonas como la hidroxidimetilfuranona (HDF) y la dihidroxidimetilfuranona (DDF).

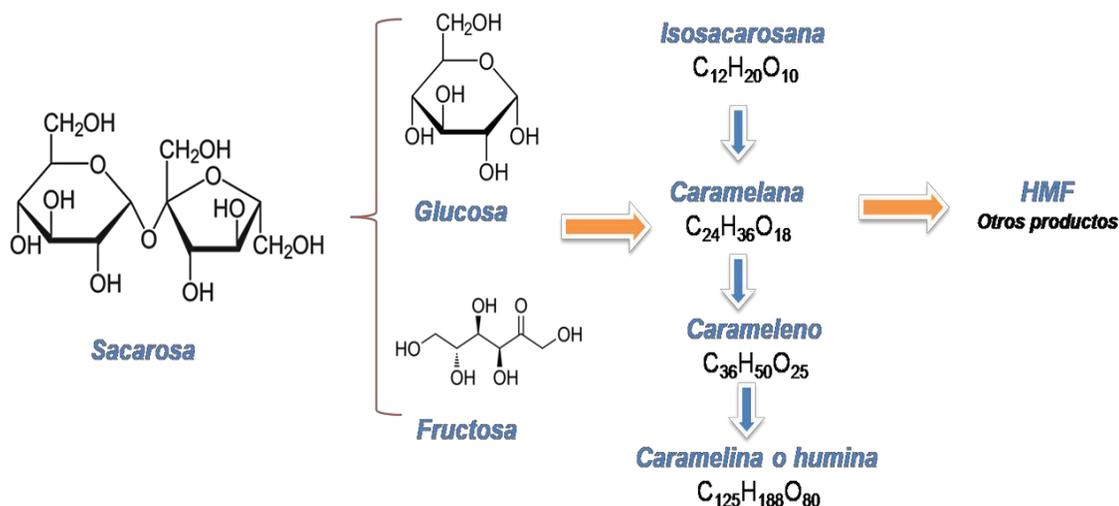


Figura 31. Reacciones de la caramelización.

Nota: Tomado de: <https://hive.blog/hive-196387>

- Síntesis del ácido ascórbico (vitamina C): el ácido ascórbico o vitamina c, es un compuesto soluble en agua que tiene una estructura similar a la glucosa y otras hexosas, y puede ser sintetizado a partir de glucosa y galactosa; los seres humanos carecen de la enzima L-gulonolactona oxidasa, necesaria para su biosíntesis, sin embargo, en el organismo, puede ser reversiblemente oxidado a ácido dehidroascórbico.
- Síntesis de compuestos fenólicos: a partir de hidratos de carbono como la sacarosa o el almidón, los cuáles son degradados por la vía de la glucólisis o la ruta de las pentosas-fosfato, se obtienen moléculas más simples como los compuestos fenólicos (Rodríguez Esquivel, 2020).

6.3.2 *Proteínas*

Considerando la complicada estructura de las proteínas y sus múltiples niveles de organización, los cambios químicos de las proteínas son procesos complicados, debido a la diversidad y versatilidad proporcionada por los grupos R de las cadenas laterales de los aminoácidos, la heterogeneidad superficial, y a la presencia de algunos factores que afectan la reactividad y accesibilidad de los grupos nucleófilos presentes en las proteínas (Pascual Alonso et al., 2016). Sin embargo, a continuación, se presentan los más comúnmente aplicados en la industria alimentaria.

- Desnaturalización química: esta modificación también puede ocurrir químicamente, por cambios de pH, adición de productos como sales, disolventes y detergentes; tal es el caso de la desnaturalización para producir la coagulación de las proteínas por cambios de pH o de manera enzimática, para producción de yogures y queso a partir de la leche (Cardona Serrate, 2020).
- Hidrólisis química: este proceso presenta gran efectividad gracias a las elevadas concentraciones de ácidos o bases utilizadas; es el método de hidrólisis proteica convencional, aunque promueve la destrucción de algunos

aminoácidos, es de alta peligrosidad y toxicidad y trae consigo de problemas en la gestión de los residuos, afectando el medio ambiente (Álvarez Soto, 2022).

- Hidrofilicidad o hidrofobicidad: este cambio ocurre principalmente por acetilación, fosforilación, esterificación, glicosilación o tiolación, aumentando la carga neta de sus superficies, modificando a su vez, el punto isoeléctrico y/o conformación, dando como resultado la modificación de las propiedades funcionales y biológicas de estas (Carrillo, 2014).

6.3.3 Lípidos

- Lipólisis: este es un proceso de descomposición de los lípidos y puede originarse por vía química o enzimática, causando la liberación de los ácidos grasos de cadena corta, dando un olor a rancio, también conocido como enranciamiento hidrolítico; en algunos casos la lipólisis es deseable para producir aromas característicos, como por ejemplo en productos lácteos (Higuera Pedraza, 2021). Esta hidrólisis ocurre en la unión formada entre los ácidos grasos y el glicerol, y puede ser acelerada por temperaturas y presiones elevadas y agua en exceso; este cambio tiene como resultado la generación de mono y di glicéridos, la formación de glicerol y de ácidos grasos libres, productos ampliamente usados en la industria química para la elaboración de diferentes derivados (Garda, 2020).
- Polimerización: este cambio está caracterizado por una generación de uniones entre cadenas de ácidos grasos no saturados de manera cruzada que dan lugar a estructuras cíclicas, primero se forman dímeros, que son dos moléculas grasas conectadas, y luego, se forman polímeros que son múltiples moléculas conectadas. Esta reacción es influenciada por el calor, por la presencia de metales pesados (Cu, Fe) y por la luz y mediante la rotura del enlace múltiple; es favorecido por altas temperaturas, como por ejemplo

el proceso de fritura. Es un cambio que trae muchos problemas en la industria alimentaria por la degradación de los lípidos (Cardona, 2020 b).

- Oxidación: la oxidación de lípidos es una reacción que afecta las propiedades y el almacenamiento de los alimentos y genera compuestos que son productos primarios y secundarios de la oxidación, que pueden llegar a ser tóxicos si son ingeridos constantemente. Es un proceso fundamental en los alimentos y ha sido objeto de numerosas investigaciones, pues sus reacciones conducen a la pérdida de valor nutricional de los alimentos y promueve la formación de compuestos que pueden resultar perjudiciales, pues es la responsable del envejecimiento de la grasa debido al contacto con el oxígeno; además, por cada incremento de temperatura en 10°C, el grado de oxidación se dobla (Ramírez et al., 2014).

6.4 Cambios biológicos.

6.4.1 Hidratos de carbono

- Fermentación: se refiere a la transformación de los hidratos de carbono o azúcares en alcohol y CO₂, por el trabajo de microorganismos como la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Este cambio consiste en un conjunto de procesos biotecnológicos de degradación de la glucosa, la fructosa y otros nutrientes orgánicos en condiciones de anaerobiosis, para obtener energía en forma de ATP; es considerado un proceso oxidativo incompleto, pues se producen moléculas como el etanol y el ácido acético, que no están en su estado totalmente oxidado.
- Hidrólisis enzimática: algunas enzimas conocidas como celulasas, y producidas por microorganismos como hongos, bacterias y celulosas promueven una serie de reacciones enzimáticas de pasos múltiples, para producir la hidrólisis de los enlaces glucosídicos existentes entre 2 o más

hidratos de carbono, logrando transformar la celulosa y la hemicelulosa en monosacáridos como la glucosa, tal como se aprecia en la Figura 32 (Avalos & Benites, 2022).

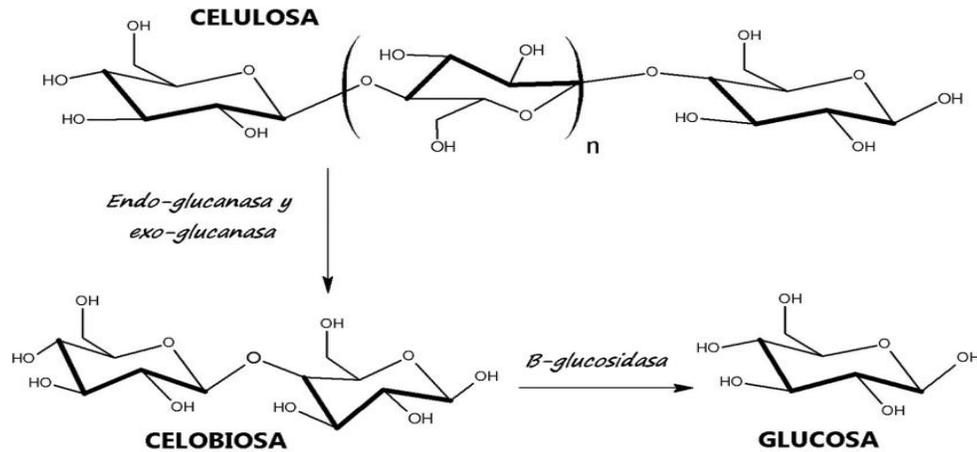


Figura 32. Hidrólisis enzimática de la celulosa.

Nota: Tomado de: <https://www.researchgate.net>.

6.4.2 Proteínas

- Desnaturalización: aunque ya se ha explicado este cambio, es importante señalar que también puede ocurrir de forma biológica, pues existen microorganismos capaces de hidrolizar o desnaturalizar las proteínas y los aminoácidos de los alimentos por la vía de la fermentación, lo cual es normalmente deseable, pero también por la vía de la putrefacción, que es indeseable (Cardona, 2020).
- Hidrólisis enzimática: ocurre por la acción de enzimas proteolíticas, hidrolizando las proteínas hasta obtener péptidos o aminoácidos; generalmente este proceso es realizado en un reactor, donde se controla la agitación, el pH, la temperatura y el tiempo de proceso (Álvarez, 2022).

6.4.3 Lípidos

- Enranciamiento: este proceso también llamado rancidez oxidativa, promueve la aparición de olores y sabores desagradables reduciendo la vida útil del alimento, y cambiando sus características organolépticas de tal manera que es rechazado por los consumidores. Además, disminuye notoriamente el valor nutricional, al destruir vitaminas o ácidos grasos esenciales (Cardona, 2020 b).

6.5 Cambios organolépticos

Los cambios organolépticos en los alimentos se refieren a las alteraciones en sus propiedades sensoriales, como el olor, color, sabor, volumen, peso y consistencia; estos cambios ocurren durante la cocción y hacen que los alimentos se perciban de manera diferente, por lo que se hace necesario estudiar acerca de estas modificaciones que sufren los alimentos, las cuales se reflejan en cambios organolépticos, de peso y de volumen (Farah & Di Giuseppe, 2014).

6.5.1 Hidratos de carbono

- Gelatinización: es la pérdida del orden molecular o colapso molecular, que se produce dentro del gránulo de almidón, y a pesar que es un cambio estructural inducido por los tratamientos térmicos aplicados, este proceso trae consigo una serie de cambios irreversibles en sus propiedades, entre los que se encuentran la absorción de agua, el hinchamiento del gránulo, la fusión de la parte cristalina, la pérdida de la birrefringencia, el aumento en la viscosidad y la solubilidad del gránulo.
- Retrogradación: término empleado para describir los cambios que ocurren al someter a enfriamiento y almacenamiento el almidón que ha sido gelatinizado; este proceso es muy importante en la industria alimentaria pues influye en la textura y en la digestibilidad de los alimentos ricos en almidón. Durante el enfriamiento del almidón ocurre una reorganización molecular de la amilosa, proceso que puede ser completado en 48 horas, siendo la composición del almidón, el contenido de humedad y el producto de la matriz,

los factores determinantes de la retrogradación y que, por tanto, podrían influir en el contenido de AR.

6.5.2 *Proteínas*

- Desnaturalización de las proteínas: aunque es un proceso muy empleado en la industria de alimentos, puede resultar un problema, ya que puede alterar la textura, la viscosidad, el color, y la agregación del alimento, siendo estos efectos no deseados (Cardona, 2020).
- Texturización: en esta modificación se reorganizan los almidones y las proteínas a nivel molecular, mediante el paso por un extrusor, donde adquieren una nueva textura de fibra hilada, sin que se afecte su sabor y su poder alimenticio; el cambio en la palatabilidad y en la forma de los alimentos se produce por el reordenamiento proteínico de las mezclas de harinas, logrando productos alimenticios con nuevas características.

6.5.3 *Lípidos*

- Cristalización: los cristales que se forman durante la cristalización tienen un efecto determinante en la textura de los alimentos que contienen grasas sólidas. Además, la red de estructuras de cristales formadas en lípidos influye directamente en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales, así como también en la capacidad de mantener los cristales deseados durante la vida útil del producto (Higuera, 2021).
- Estado físico: la textura y otras características organolépticas de los alimentos se ven fuertemente influenciadas por el estado físico de los triglicéridos que componen las grasas; en alimentos donde los triglicéridos están principalmente en estado líquido a temperatura ambiente, como los aceites usados en aderezos, la viscosidad del aceite define la textura, en cambio, en alimentos con predominancia de triglicéridos sólidos, como la

manteca de cacao en el chocolate, la textura depende del tipo de estructura cristalina que la grasa adopte (Higuera, 2021).

6.6 Deterioro en los alimentos. Causas y efectos.

El deterioro de los alimentos es un proceso vinculado principalmente a condiciones desfavorables durante el proceso y almacenamiento producidas por factores como la actividad de agua (A_w), la exposición a la luz, la deshidratación, la acción de microorganismos, entre otros (Morillo et al., 2023). Según Herrera (2017), existen tres causas principales de deterioro de los alimentos, es a saber, física, biológica y química, las cuales serán explicados más detalladamente a continuación:

- Físicas: el deterioro por causas físicas se debe principalmente a rupturas de las células de alimentos frescos o de empaques en alimentos procesados, por traumas o golpes, que facilitan el ataque de vectores como microorganismos, insectos y roedores; además, factores como la temperatura, la exposición a la luz y el tiempo de almacenamiento son causantes físicos de deterioro a las estructuras y componentes internos del alimento (Herrera, 2017). Un resumen de estos se presenta en la Tabla que se muestra a continuación.

Tabla 4. Factores físicos que causan deterioro de los alimentos.

Causa	Deterioro	Ejemplo
Calor o frío	Afecta la textura, la apariencia y el valor nutritivo de los alimentos.	Hortalizas marchitas por el frío o exceso de calor.
Humedad o sequedad	Crecimiento de microorganismos, costras o defectos en las superficies de los alimentos.	Crecimiento de hongos, levaduras en las frutas. Endurecimiento de las harinas.
Traumas o golpes	Aumento de la posibilidad de crecimiento microbiano.	Cáscaras de frutas y empaques agrietados.
Exposición a la luz	Destrucción de las vitaminas, rancidez y pérdida de color.	Pérdida de vitaminas en los jugos de frutas y Mantequilla rancia.
Oxígeno	Pardeamiento, oxidación.	Pardeamiento de manzana, papa y bananas.

Fuente: Herrera, (2017).

- Biológicas: estas causas incluyen los roedores e insectos, así como también todo tipo de microorganismos y parásitos, pues estos vectores son fáciles de encontrar en alimentos, ya que son de difusión rápida y algunos de estos producen sustancias, toxinas o cambios que causan el deterioro (Morillo et al., 2023).
- Químicas: las causas químicas de deterioro alimentario pueden ser inducida por sustancias añadidas de manera intencional, como colorantes, saborizantes y espesantes, o de manera accidental como desinfectantes, combustibles y lubricantes de equipos y plaguicidas, sin embargo, la adición de estos origina cambios desagradables o toxicidad en el alimento que lo convierten en no apto para consumo (Herrera, 2017).

6.7 Influencia de la temperatura, Aw, tiempo y O₂

El control sobre la temperatura, la actividad de agua (Aw), el tiempo y la presencia de oxígeno en los alimentos es crucial para detener su deterioro y prolongar su vida útil y su calidad, por lo que a continuación se explicará brevemente cómo afectan estos factores, según lo expresado por Morillo et al. (2023):

- Temperatura: los alimentos pueden sufrir cambios estructurales y degradación a diferentes temperaturas, por ejemplo, elevadas temperaturas pueden acelerar la degradación de alimentos y provocar la gelatinización del almidón y la caramelización de azúcares, lo que afecta directamente la textura y el sabor de estos; por otra parte, las temperaturas bajas de refrigeración o congelación pueden ralentizar la degradación, cambiando significativamente la textura del producto alimenticio.
- Actividad de agua (Aw): la Aw mide la disponibilidad de agua en un alimento y su importancia se debe a que los principales grupos de nutrientes presentes en alimentos (hidratos de carbono, lípidos y proteínas) sufren cambios en su estructura y propiedades al hacer interacción con los altos niveles de agua presente; además, el bajo valor de Aw en alimentos secos puede inhibir el crecimiento de microorganismos, mientras que el alto valor en alimentos húmedos puede favorecer la proliferación de bacterias y hongos patógenos.
- Tiempo: el tiempo de almacenamiento afecta la calidad de algunos alimentos, disminuyendo su vida útil y de anaquel, así como también una exposición prolongada al aire y la humedad puede provocar la formación de moho y deterioro. De manera que, si se desea que los alimentos tengan una vida útil más larga, deben ser envasados al vacío o sellados herméticamente.
- Oxígeno: el oxígeno es un causante común de deterioro, como por ejemplo la oxidación de carbohidratos y lípidos presentes en algunos alimentos, causante de rancidez y pérdida de sabor, por lo que resulta indispensable y

necesario un envasado al vacío o con atmósfera modificada para reducir la exposición al oxígeno de algunos alimentos.

Los alimentos experimentan cambios notables como resultado de los tratamientos, el procesamiento y el almacenamiento que pueden afectar su aspecto, su peso, su volumen, su composición, su valor nutricional y por ende su calidad, su seguridad y su vida útil. En términos generales, para detener o retrasar los cambios en los alimentos, se requiere conocer las particularidades de cada grupo funcional presentes en el alimento y los factores que deben ser abordados.

Entre los cambios más frecuentes, se pueden identificar los de tipo físico, químico y biológico; estableciéndose que estos van a ocurrir de acuerdo a condiciones como los macrocomponentes de los alimentos, siendo los hidratos de carbono, las proteínas, y los lípidos, los grupos más frecuentemente presentes en los alimentos y las condiciones a las que se someten estos.

Las reacciones químicas y bioquímicas y factores como la temperatura, el tiempo, el pH, el contenido de oxígeno, la actividad enzimática, entre otros, influyen en las transformaciones químicas, físicas y biológicas de los alimentos; y algunos de estos cambios tienen un impacto beneficioso para la industria alimentaria. Entre estos cambios, se incluyen la oxidación de los lípidos, la hidrólisis, la cristalización, la polimerización, la desnaturalización, los cambios de color, la gelificación, entre otros.

En conclusión, los cambios que ocurren en los alimentos son procesos complejos y multifacéticos que impactan profundamente la calidad, seguridad y valor nutricional de los productos alimentarios. A lo largo de este capítulo, hemos explorado las diversas transformaciones físicas, químicas y biológicas que los alimentos experimentan durante su producción, procesamiento, almacenamiento y consumo.

- **Transformaciones Físicas y Químicas**

Las transformaciones físicas, como la congelación, descongelación, deshidratación y rehidratación, afectan la estructura y textura de los alimentos. Estas transformaciones son cruciales para la preservación y mejora de la vida útil de los productos alimentarios. Además, las reacciones químicas, como la oxidación, hidrólisis y la reacción de Maillard, juegan un papel fundamental en la generación de sabores, colores y aromas, así como en la formación de compuestos potencialmente beneficiosos o perjudiciales para la salud.

- **Cambios Biológicos**

Los cambios biológicos incluyen la acción de enzimas y microorganismos en los alimentos. Las enzimas pueden catalizar reacciones que modifican la textura, el sabor y la estabilidad de los alimentos, mientras que los microorganismos pueden tener efectos tanto positivos como negativos. Por ejemplo, la fermentación microbiana puede mejorar el sabor y valor nutricional de los alimentos, mientras que la contaminación microbiana puede comprometer la seguridad alimentaria. La comprensión y control de estos procesos biológicos es esencial para la producción de alimentos seguros y de alta calidad.

- **Influencia del Procesamiento y Almacenamiento**

El procesamiento y almacenamiento de los alimentos son etapas críticas donde ocurren numerosos cambios. Técnicas como el calentamiento, refrigeración, pasteurización y envasado afectan la estabilidad y calidad de los alimentos. Al aplicar principios de la química de los alimentos, los científicos y tecnólogos pueden optimizar estos procesos para minimizar la degradación de nutrientes y maximizar la seguridad y palatabilidad de los productos alimentarios. La investigación continua en este campo permite la innovación en métodos de conservación y procesamiento que responden a las necesidades cambiantes de los consumidores.

- **Implicaciones para la Salud y la Sostenibilidad**

Los cambios que ocurren en los alimentos también tienen implicaciones significativas para la salud y la sostenibilidad. La degradación de nutrientes durante el procesamiento y almacenamiento puede impactar negativamente en la calidad nutricional de la dieta. Sin embargo, mediante el uso de técnicas avanzadas y la comprensión de los mecanismos químicos y biológicos, es posible desarrollar alimentos que mantengan sus propiedades saludables a lo largo del tiempo. Además, la implementación de prácticas sostenibles en el procesamiento y almacenamiento de alimentos puede reducir el desperdicio alimentario y contribuir a la seguridad alimentaria global.

En resumen, los cambios que ocurren en los alimentos son procesos esenciales que determinan la calidad, seguridad y valor nutricional de los productos que consumimos. La continua investigación y aplicación de los principios de la química de los alimentos permitirá mejorar estos procesos, promoviendo alimentos más seguros, nutritivos y sostenibles para la población mundial.

6.8 Importancia de la química en los alimentos

La química alimentaria desempeña un papel crucial en nuestras vidas diarias, influyendo en múltiples aspectos de nuestra salud, seguridad y disfrute de los alimentos. A lo largo de este capítulo, hemos explorado cómo la química proporciona una comprensión profunda de los procesos que ocurren en los alimentos, desde su producción hasta su consumo final.

- **Impacto en la Seguridad Alimentaria**

Uno de los aspectos más significativos de la química en los alimentos es su contribución a la seguridad alimentaria. Los químicos alimentarios investigan y controlan la presencia de contaminantes, aditivos y microorganismos que pueden

poner en riesgo la salud humana. La capacidad de identificar y mitigar estos riesgos garantiza que los alimentos que consumimos sean seguros y estén libres de toxinas y agentes patógenos. Además, la química permite el desarrollo de métodos de conservación eficaces que prolongan la vida útil de los alimentos, reduciendo el desperdicio y asegurando un suministro constante de alimentos frescos y nutritivos.

- **Mejora de la Calidad y el Valor Nutricional**

La química también juega un papel fundamental en la mejora de la calidad y el valor nutricional de los alimentos. A través del estudio de la composición química de los alimentos, los científicos pueden identificar nutrientes esenciales y desarrollar formas de aumentar su disponibilidad y absorción en el cuerpo humano. Este conocimiento es vital para combatir la malnutrición y promover dietas equilibradas. Además, la química alimentaria permite el desarrollo de alimentos fortificados y funcionales que aportan beneficios adicionales a la salud, como la reducción del riesgo de enfermedades crónicas.

- **Innovación y Desarrollo de Nuevos Productos**

La industria alimentaria depende en gran medida de la química para la innovación y el desarrollo de nuevos productos. Los avances en la química permiten la creación de alimentos más sabrosos, atractivos y convenientes para los consumidores. Desde la elaboración de nuevos sabores y texturas hasta la optimización de los procesos de producción, la química impulsa la creatividad y la competencia en el mercado alimentario. Asimismo, la investigación química ha facilitado la producción de alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, como los alimentos a base de plantas y los ingredientes sintéticos, que ofrecen soluciones a los desafíos globales de sostenibilidad y seguridad alimentaria.

- Comprensión de los Procesos Culinarios

La química nos proporciona una comprensión detallada de los procesos culinarios y cómo estos afectan las propiedades de los alimentos. Al descomponer las reacciones químicas que ocurren durante la cocción, la fermentación y otros métodos de preparación, podemos mejorar nuestras técnicas culinarias y obtener resultados más consistentes y deliciosos. Esta comprensión no solo beneficia a los chefs profesionales, sino también a los consumidores cotidianos que buscan mejorar sus habilidades culinarias y disfrutar de comidas más placenteras y nutritivas en sus hogares.

- Perspectivas Futuras

Mirando hacia el futuro, la química continuará siendo un pilar fundamental en el avance de la ciencia y la tecnología alimentaria. La investigación en áreas emergentes, como la biotecnología y la nanotecnología, promete revolucionar la forma en que producimos y consumimos alimentos, ofreciendo soluciones innovadoras a problemas antiguos y nuevos desafíos. La colaboración interdisciplinaria entre químicos, biólogos, nutricionistas y otros profesionales será esencial para maximizar el impacto positivo de la química en nuestra alimentación y bienestar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, A., García del Moral Garrido, B., & Martos Núñez, M. V. (2022). *Learning about chlorophyll and anthocyanins as potential indicators of plant physiological state*. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/73538>
- Álvarez Soto, B. (2022). *Estudio sobre hidrólisis proteica con agua subcrítica para la valorización de subproductos marinos*. <https://riubu.ubu.es/handle/10259/7711>
- Amchova, P., Kotolova, H., & Ruda-Kucerova, J. (2015). Health safety issues of synthetic food colorants. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 73(3), 914-922.
- Arévalo, S. (2017). Agua en los alimentos. *Universidad Nacional de la Amazonia Peruana*.
- Arias-Giraldo, S., & López-Velasco, D. M. (2019). Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria. *Lámpsakos (revista descontinuada)*, 22, 123-135.
- Avalos Leandro, C. D., & Benites Zelaya, J. C. (2022). *Obtención de azúcares reductores a partir de la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de Manihot Esculenta (yuca) variedad blanca*. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7459>
- Babio, N., Casas-Agustench, P., & Salas-Salvadó, J. (2020). Alimentos ultraprocesados. *Revisión crítica, limitaciones del concepto y posible uso en salud pública*. *Universitat Rovira i Virgili*. <https://infoalimentario.com/wp-content/uploads/2020/08/ultraprocesados-21-06.pdf>
- Badui, S. (2020). *Química de los Alimentos* (6 ta). Pearson Educación. https://www.google.com/search?q=Badui%2C+S.+%282020%29.+Qu%3%ADmica+de+lo+s+Alimentos+%286ta+ed.%29.+Pearson.&sca_esv=5a9a2b11d53d98e8&rlz=1C1SQJL_es
- Badui, S. (2020). *Química de los Alimentos* (6ta ed.). Pearson.
- Barrios, F. (2019). *Análisis de actividad de agua en alimentos*. [https://www.google.com/search?q=Barrios%2C+F.+\(2019\).+An%3%A1lisis+de+actividad](https://www.google.com/search?q=Barrios%2C+F.+(2019).+An%3%A1lisis+de+actividad)
- BeMiller, J. N. (2018). *Carbohydrate chemistry for food scientists*. Elsevier. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=MRlxDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=BeMill>

- Cabezas-Zábala, C. C., Hernández-Torres, B. C., & Vargas-Zárate, M. (2016). Aceites y grasas: Efectos en la salud y regulación mundial. *Revista de la Facultad de Medicina*, 64(4), 761-768.
- Calvo, M. V., Fontecha, F. J., & Molina, E. (2020). *Alimenta Magazine* 7. <https://digital.csic.es/handle/10261/203311>
- Carbajal, Á., & González, M. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. *Agua para la salud. Pasado, presente y futuro*, 3, 33-45.
- Cardona, F. (2020a). *Alteraciones no microbianas en alimentos: El pardeamiento y el enranciamiento*. <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/147166/Cardona%20-enranciamiento>.
- Cardona, F. (2020b). *Los enzimas. Introducción a la enzimología* [Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/146362/Cardona%20-enzimas>
- Cardona Serrate, F. (2019). *Actividad del agua en alimentos: Concepto, medida y aplicaciones*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/121948>
- Cardona Serrate, F. (2020). *Los aminoácidos. Estructura y tipos*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/147137>
- Carrillo, W. (2014). Digestibilidad de las proteínas alergénicas. *Química viva*, 13(2), 109-122.
- Casado Pérez, I. Y. (2020). *Hidratos de carbono: Salud y medioambiente*. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/20261>
- Caycedo Lozano, L., Ramírez, L. C. C., & Suárez, D. M. T. (2021). Las bacterias, su nutrición y crecimiento: Una mirada desde la química. *Nova*, 19(36), 49-94.
- Celestino Vázquez, J. (2023). *Análisis de propiedades fisicoquímicas del agua activada por plasma y su aplicación en la agricultura*. <http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/3976>
- Chirinos, S. (2017). *Determinación de los parámetros de tiempo y temperatura óptimos para un proceso de pasteurización que asegure la estabilidad microbiológica de una bebida carbonatada, no alcohólica a base de malta* [PhD Thesis]. <http://saber.ucv.ve/handle/10872/16824>
- Coultate, T. (2023). *Food: The chemistry of its components*. Royal Society of Chemistry. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rZPiEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Coultate>

- Díaz, L. G., Tarifa, P. G., Olivera, S., Gerje, F. L., Benítez, M. B., & Ercoli, P. H. (2014). *Alimentos: Historia, presente y futuro*.
- Farah, S., & Di Giuseppe, S. (2014). *Modificaciones en la calidad nutritiva, composición química y sensorial de alimentos sometidos a diferentes procedimientos de cocción*.
<http://umaza.dspace.theke.io/handle/00261/2389>
- Fennema, O. R., Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2017). *Introduction to food chemistry*. CRC Press.
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315372914-1/introduction-food-chemistry-owen-fennema-srinivasan-damodaran-kirk-parkin>
- Flores Zavala, B. T. (2021). *Caracterización del pigmento presente en el pericarpio del fruto del nogal (Nogalina) como tintura orgánica*. <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/15533>
- Garda, M. R. (2020). *Técnicas del manejo de los alimentos*. Eudeba.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zQbtDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=Gard>
- Gómez Pareja, A. M. (2020). *Química del color*. <https://idus.us.es/handle/11441/103363>
- Guillén, M. V. L. (2009). Estructura y propiedades de las proteínas. *Obtenido de <http://www.uv.es>: http://www.uv.es/tunon/pdf_doc/proteinas_09.pdf. 34p.*
<https://www.didacticamultimedia.com/registro/biologia/10/documentos/proteinas.pdf>
- Higuera Pedraza, S. F. (2021). *Evaluación de la cristalización de grasas derivadas de aceite de palma como agentes aglutinantes en sazonadores en polvo prensados* [PhD Thesis, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81332>
- Ibarretxe, D., & Masana, L. (2021). Metabolismo de los triglicéridos y clasificación de las hipertrigliceridemias. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis*, 33, 1-6.
- Igartúa, D., & Sceni, P. (2023). *Abordaje experimental para la enseñanza y el aprendizaje de la reacción de Maillard en química de los alimentos*.
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/220632>
- Kraser, R. B., & Hernández, S. A. (2020). *Colorantes alimentarios y su relación con la salud: ¿cómo abordar esta problemática desde el estudio de las disoluciones?*
<https://rodin.uca.es/handle/10498/22319>

- Lucero Bustos, A. L., & Muñoz Betancourt, A. P. (2019). *Evaluación de la viabilidad técnico financiera para la obtención de un colorante natural partiendo del residuo mora de castilla (Rubus Glaucus Benth) para la aplicación en la industria de alimentos*. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7593>
- Luna Zumbado, M. R. (2019). *Evaluación del efecto de la adición de extracto de proteína del salvado de arroz sobre las propiedades fisicoquímicas, sensoriales, reológicas y en el almacenamiento de una galleta libre de gluten*.
- Marcano, D. (2014). *Deanna Marcano*. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/206/1/Marcano2015.pdf>
- Marcano, D. (2018). *Introducción a la Química de los colorantes. Colección Divulgación Científica y Tecnológica*. <https://www.google.com/search?q=Marcano%2C+D.+%282018%29.+Introducci%C3%B3n>
- Micocci, L. (2018). *Biomoléculas: Carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos. Química biológica. Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Litoral*.
- Montano. (2014). *Una historia breve sobre la alimentación y la evolución humana*. 20(2), 38-39.
- Montes Grajales, D., Cabarcas Montalvo, M., Olivero Verbel, J., & Padauí, B. (2017). *Organización estructural de proteínas*. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/6045>
- Moral, S., Ramírez-Coutiño, L. P., & García-Gómez, M. D. J. (2015). Aspectos relevantes del uso de enzimas en la industria de los alimentos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(3), 87-102.
- Morales, J. P. Z., Pizarro, W. J. Z., Macías, V. I. V., & Moreno, E. A. (2017). Los Aminoácidos en el cuerpo humano. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 1(5), 379-391.
- Moscoso-Mujica, G., Zavaleta, A., Mujica, Á., Santos, M., & Calixto, R. (2017). Fraccionamiento y caracterización electroforética de las proteínas de la semilla de kañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *Revista chilena de nutrición*, 44(2), 144-152.
- Nishinari, K. (Ed.). (2020). *Textural Characteristics of World Foods* (1.^a ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119430902>

- Ortiz Melo, G. (2021). *Consumo de alimentos con rojo 40 como estilo de vida y sus implicaciones en la salud*. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/2741b5aa-99ec-4b47-b9a5-b591956bb51a>
- Ospina González, J. G. (2023). *Uso de aminoácidos para el desarrollo y crecimiento en pollos de engorde*. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/9dafa06a-2b73-4af1-baa8-ff8d62cc126e>
- Palacios Zambrano, J. J., & Vera Vera, Á. R. (2021). *Efecto del carbón activado de cascarilla de arroz y dosis de aplicación en el blanqueo del aceite de palma híbrida (Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis)* [Master's Thesis, Calceta: ESPAM MFL]. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1584>
- Pascual Alonso, I., Arrebola Sanchez, Y. M., Amalia Ruiz, G., Reytor González, M. L., & Hernández-Zanui, A. (2016). Identificación de actividad inhibidora de Aminopeptidasa N aislada de riñón porcino, en invertebrados marinos de la plataforma insular de La Habana. *Cuban Journal of Biological Sciences/Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 5(2). <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=c>
- Peña, C. & Quirasco, M. (2014). *¿Enzimas en los alimentos? Bioquímica de lo comestible*. 15(12), 1-13.
- Petron, C. V. C. (2019). *Crisis en latencia: Configuración del paisaje como transición urbana-natural: proyecto de reforestación y contención ante riesgos de deslizamientos y aluviones en laderas y quebradas en el sector de chigüayante* [Master's Thesis, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)]. <https://search.proquest.com/openview/0c132a273d6bf5e5dbe1dc7e9e7b7d53/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Piedra, F. J. (2017). *Control del pardeamiento enzimático en manzanas cortadas (Red delicious) mediante un sistema de envasado activo (Enzymatic browning control in cut apples (Red delicious) through a system of active packaging)*. <https://www.academia.edu/download/86712730/164.pdf>

- Plaza Lafuente, C. (2019). *Estudio de las propiedades funcionales de distintas sustancias colorantes*.
<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/37445>
- Polanco, A. (2017). *Extracción, modificación y caracterización de proteínas de amaranto* [PhD Thesis]. Tesis de maestría, Universidad Veracruzana). Biblioteca digital de la
- Popkin, B. M. (2015). Nutrition Transition and the Global Diabetes Epidemic. *Current Diabetes Reports*, 15(9), 64. <https://doi.org/10.1007/s11892-015-0631-4>
- Ramírez, A. E., Ovando, A. C., & Godínez, J. R. (2014). Cambios químicos de los aceites comestibles durante el proceso de fritura. Riesgos en la salud. *Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingeniería*, 3.
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/download/526/3497?i>
- Ramírez, J. & Ayala, M. (2014). *Enzimas: ¿Qué son y cómo funcionan?* 15(12), 13.
- Rembado, F. M. (2009). *La química en los alimentos*. <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-FCF:15096/Description>
- Robles, C. E. M., García, J. I. B., Cáceres, S. S., & Castillo, N. del R. T. (2023). Degradación de los componentes químicos presentes en los alimentos por influencia de la temperatura. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 8(8), 1736-1753.
- Rodríguez Esquivel, C. A. (2020). *Aplicación de herramientas de manufactura esbelta y automatización en procesos industriales: Una revisión de la literatura científica*.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24092>
- Rodríguez, S. (2020). *Expresión y caracterización de enzimas aisladas de fuentes termales usando metagenómica funcional* [Experimental, Universidad de A Coruña].
https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/25796/RodriguezMoar-Simon_TFM_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Ropero, A. (2016). *Agua, el nutriente máspreciado*.
https://www.google.com/search?q=Ropero%2C+A.%282016%29.%2C+Agua%2C+el+nutriente+m%C3%A1s+preciado.+Elche%2C+Espa%C3%B1a%3A+Universidad+Miguel+Hern%C3%A1ndez.+Proyecto+BADALI.&sca_esv=c839f9702c677c11&rlz=1C1SQJL_esVE941VE941&sxsrf=ADLYWII-

- Salazar Carranza, L. A., Hinojoza Guerrero, M. M., Acosta Gaibor, M. P., Escobar Torres, A. F., & Srich Vázquez, A. J. (2020). Caracterización, clasificación y usos de las enzimas lipasas en la producción industrial. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 39(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03002020000400017&script=sci_arttext
- Talens Oliag, P. (2017). *Determinación de la isoterma de sorción de agua un alimento*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/83506>
- Tapia, M. S. (2020). Contribucion al concepto de actividad del agua (aw) y su aplicacion en la ciencia y tecnologia de alimentos en Latinoamerica y Venezuela. *Comisión Editorial*, 18.
- Tierra Totoy, V. J. (2018). *Extracción de colorantes naturales de Camote (Ipomoea batatas), Col Morada (Brassica oleracea var. Capitata) y Maíz Morado (Zea mays L.) para el uso en la industria de alimentos*. [B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9025>
- Tresguerres, J., Villanúa, M. A., & LOPEZ, A. (2009). *Anatomía y fisiología del cuerpo humano*. McGraw Hill. <https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/3602/1/Anatom%C3%ADa%20y%20fisiolog%C3%ADa%20del%20cuerpo%20humano%20-%20Jes%C3%BAs%20A.%20F.%20Tresguerres-%28e-pub.me%29.pdf>
- Urfalino, D. P., & Worlock, J. (2017). *Estimación de la actividad acuosa en función de la humedad de la ciruela d'Agen*. INTA. EEA Rama Caída. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/3098>
- Velázquez, M., & Ordorica, M. (2015). *Estructura de Lípidos*. [https://www.google.com/search?q=Vel%C3%A1zquez%2C+M.+%26+Ordorica%2C+M.+\(2015\)](https://www.google.com/search?q=Vel%C3%A1zquez%2C+M.+%26+Ordorica%2C+M.+(2015))
- Wakim, S., & Grewal, M. (2024). *Propiedades Bioquímicas*. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Wakim%2C+S.%2C+%26+Gre
- Zalyhina, V., Cheprasova, V., Belyaeva, V., & Romanovski, V. (2021). Pigments from spent Zn, Ni, Cu, and Cd electrolytes from electroplating industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(25), 32660-32668. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13007-4>

María Verónica González Cabrera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) – Facultad de Ciencias Pecuarias, Carrera de Agroindustria. mariav.gonzalez@esPOCH.edu.ec, verogc86@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5358-798X>

Nacida en Guano, Chimborazo - Ecuador, Bioquímica Farmacéutica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Magister en Agroindustria mención Gestión de la Calidad y Seguridad Alimentaria de la Universidad de las Américas. Con experiencia profesional en tratamiento de aguas residuales y control de sólidos de perforación; así como el control de calidad de agua potable. Ha trabajado como Analista de Medicamentos Biológicos en la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria y dentro del área de alimentos su experiencia se basa en el control de calidad y seguridad alimentaria en la planta de ARCA Continental - Ecuador. En la actualidad, ejerce como Profesora en la Facultad de Ciencias Pecuarias, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en Riobamba, Ecuador. Ha realizado a nivel universitario actividades de gestión, vinculación e investigación, siendo director subrogante de proyectos de Investigación y Coordinador de proyectos de vinculación en el área agroindustrial.

Tatiana Elizabeth Sánchez Herrera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)- Facultad de Ciencias Pecuarias, Carrera de Agroindustria; tsanchez@esPOCH.edu.ec <https://orcid.org/0000-0003-2733-7941>

Nacida en Ambato, Tungurahua-Ecuador en 1987, recibió el grado de Ingeniera en Industrias Pecuarias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), es Magíster en Gestión de la Producción Agroindustrial en la universidad Técnica de Ambato, con experiencia profesional en Industrias de Curtiembre en el área de producción, control de calidad y Normas ISO 9001, actualmente ejerce como profesora en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Facultad de Ciencias Pecuarias, es miembro y coordinadora subrogante de proyectos de investigación perteneciente al grupo SEALPRA, con varias publicaciones nacionales e internacionales y posee experiencia en actividades académicas como gestión y vinculación.

Adriana Isabel Rodríguez Basantes

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) – Facultad de Ciencias, Carrera de Química, Bioquímica y Farmacia. adriana.rodriguez@esPOCH.edu.ec; adriro_4@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-2532-6504>

Nació en Riobamba, en 1979, Bioquímica Farmacéutica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Magister en Agroindustrias mención Sistemas Agroindustriales de la Universidad Estatal Amazónica. Docente de grado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Docente Investigador, con trayectoria y participación en varios proyectos de investigación y vinculación, autora y coautora de publicaciones científicas. Gerente de Aseguramiento de Calidad en SIMAA Cia Ltda, y Agus Snacks. Con conocimientos el área de Gestión de Calidad, Producción de alimentos, desarrollo de nuevos productos alimenticios, aplicación de sistemas BPM y HACCC, dirigir y coordinar auditorías internas y externas para asegurar la aplicación de sistemas de calidad.

ISBN: 978-9942-33-903-4



Compás
capacitación e investigación