



**UNIVERSIDAD MICHOCANA  
DE SAN NICOLÁS  
DE HIDALGO**

**ESCUELA DE QUÍMICO  
FARMACOBIOLOGÍA**

TESINA PROFESIONAL

***“EVALUACIÓN DE COLOR EN FRUTOS”***

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**QUÍMICO FARMACOBIOLOGO**

PRESENTA:

**p. Q. F. B. GUADALUPE VIRIDIANA BARBOSA BOTELLO**

ASESOR:

**D. C. CONSUELO DE JESUS CORTES PENAGOS**



MORELIA, MICH. MAYO DEL 2006.

El presente trabajo de investigación bibliográfica se llevo a cabo en el Laboratorio de Investigación en Biotecnología en Alimentos "M. C. Víctor Manuel Rodríguez Alcocer" en la Escuela de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, bajo la dirección de la D. C. Consuelo de Jesús Cortes Penagos.

## AGRADECIMIENTOS

Ante todo, le doy gracias a Dios por permitirme avanzar en la vida, por estar conmigo todo el tiempo y darme la capacidad y voluntad que necesito.

A mis Padres Fidelía Botello Hurtado y Alvaro Barbosa Ruíz, por el amor y esfuerzo incomparable que me han dado, por paciencia y tenacidad de su lucha inmensa para formarme como una persona de bien, no solo a mí sino también a mis hermanos Alvaro Ebí y Tony Gamaliel.

A mis hermanos Tony y Ebí, a mi cuñada Esmeralda, a mis sobrinos Gemma, Alvarito y Maryfer, por su apoyo, su gran cariño hacia mí y sobretodo por estar presentes en mi vida y convertirla en un espacio maravilloso para convivir.

A todos mis Tíos, Tías, primos y primas, así como a mi Abuelita Paz por su gran aprecio y confianza en mí.

A mis compañeros y amigos de la sección 02 generación 2000 - 2005 de la Escuela de Químico Farmacobiología, y de el CBTís. 149 generación 1997 - 2000, por compartir momentos inolvidables en mi vida en el pasado y aún ahora.

A mis amigas Fabiola, Edith, por que con ellas aprendí el valor de la amistad y la buena voluntad en las personas, a mi prima Rebeca por el apoyo inmedible e imparabile que tiene conmigo y por su invaluable amistad.

A todos mis profesores les doy las gracias por haberme ayudado a lo largo de esta carrera y por todos los conocimientos que me han transmitido y por su infinita comprensión.

A mi asesora la Doctora Consuelo, por la confianza y apoyo que mostró conmigo al permitirme emprender este trabajo bajo su dirección.

Son tantas las cosas que me han permitido emprender y lograr y tantas las personas que han formado parte de ello en mi vida, que es difícil describir con palabras todo mi aprecio y agradecimiento hacia ellas.

Desde lo más profundo de mi corazón gracias, muchas gracias a mi Familia, por que con ellos la vida es un regalo mucho más hermoso y completo. A mis Padres, porque en mi vida espero lograr, lo que ustedes han hecho por mí.

GRACIAS.

**ÍNDICE GENERAL**

<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	IV
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	VI
<b>I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	VII
<b>II. OBJETIVO GENERAL</b> .....	VIII
<b>III. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA</b> .....	9

**CAPITULO I**

1.1 Fisiología de Las Plantas .....	9
1.1.1 El Cloroplasto .....	10
1.2 Fisiología del Fruto .....	11
1.2.1 Ontología Vegetal .....	11
1.2.2 Historia .....	11
1.2.3 Definición.....	12
1.2.4 Reproducción .....	13
1.2.5 Desarrollo .....	14
1.2.6 Anatomía .....	14
1.2.6.1 Estructura y Funciones.....	15
1.2.7 Bioquímica .....	16
1.2.8 Clasificación .....	17
1.3 Juvenilidad .....	19
1.4 Maduración .....	20
1.5 Senescencia .....	21
1.6 Abscisión .....	22

**CAPITULO II**

2.1 Los pigmentos Vegetales .....	23
2.2 Clasificación .....	23
2.2.1 Carotenos.....	23
2.2.2 Clorofilas .....	26
2.2.3 Flavonoides .....	28
2.3 Síntesis de Pigmentos.....	29
2.3.1 Síntesis de Carotenoides .....	29
2.3.2 Degradación de Carotenoides.....	31
2.3.3 Síntesis de Clorofilas.....	32
2.3.4 Degradación de Clorofilas.....	36
2.3.5 Catabolismo de Clorofilas.....	37

2.3.6	Síntesis de Flavonoides-----	37
2.4	Cambios Fisiológicos y Químicos en el color de frutos-----	37
2.5	Factores que intervienen en el Cambio de Color -----	39
2.6	Componentes de Calidad e Índice de Madurez -----	40
2.7	Pigmentos Fotosintéticos -----	40
2.8	Tejidos fotosintéticos -----	41
2.9	Fotosíntesis -----	41
2.10	Sistema Fitocromo-----	42
2.11	Color en Frutos -----	44
2.12	Sustancias de Crecimiento Vegetal -----	44
2.13	Fitohormonas-----	45
2.13.1	Clasificación-----	46
2.14	Etileno-----	47

### CAPITULO III

3.1	Evaluación de Color en Frutos-----	50
3.2	Las Propiedades Sensoriales -----	51
3.3	Evaluación sensorial del color -----	53
3.4	Color-----	55
3.5	Principios de las Medidas Ópticas -----	57
3.6	Evaluación Visual -----	59
3.7	Sistemas de Evaluación de Color -----	60
3.8	Colorimetría triestimulo-----	61
3.9	Ejemplos de Evaluación de color en Frutos -----	61
3.10	Medida de Color-----	62
3.10.1	Tintometro de Loviband-Schofield-----	62
3.10.2	Medidor de diferencias de color Gardner-----	62
3.10.3	Espectrofotómetro de Absorción-----	63
3.11	Instrumentos de Medición HunterLab-----	64
3.11.1	Color y Apariencia-----	64
3.11.2	Ejemplos de Equipos de Instrumentación HunterLab para Medida de Color-----	68

IV.	CONCLUSIONES. -----	71
V.	BIBLIOGRAFIA. -----	72

## ÍNDICE DE FIGURAS.-

1.-	El cloroplasto-----	10
2.-	Frutos-----	12
3.-	Estructura y funciones de una planta-----	16
4.-	Clasificación de Frutos-----	18
5.-	Estructura del <i>alfa</i> -caroteno-----	25
6.-	Estructura de la clorofila a y b-----	26
7.-	Formación del esqueleto de 4 átomos de C de los carotenoides y su deshidratación-----	30
8.-	Unas de las posibilidades del ciclo de los carotenoides-----	31
9.-	Formación del ácido <i>delta</i> - aminolevulínico-----	32
10.-	Formación del Ptoporfirinigeno IX-----	33
11.-	Formación de la Mg-protoporfirina IX monometilester-----	34
12.-	Formación de Clorofila a-----	35
13.-	Esquema de síntesis de porfirinas-----	36
14.-	Diferentes índices de Madurez en frutos-----	38
15.-	Reacción de fotosíntesis -----	42
16.-	Sistema fitocromo-----	43
17.-	Espectro visible-----	50
18.-	El Hexágono cromático-----	52
19.-	Sistema tridimensional B-R-Y de medición de color-----	54
20.-	Diagrama de un selector de alimentos por color-----	55
21.-	Equipo Hunterlab de medición de color y diferenciación de color-----	56
22.-	El Colorflex-----	68
23.-	El Colorflex tomato color meter-----	69
24.-	El Colorflex citrus meter-----	69
25.-	El LabScanXE-----	70
26.-	El MiniScanXE-----	70

**I. INTRODUCCIÓN GENERAL.-**

La vida del ser humano esta rodeada y en muchos casos dominada por las plantas y el mundo de las plantas a su vez por el color verde, el cual es el resultado de la presencia de clorofila, pigmento principal del reino vegetal, presente en los cloroplasto y es percibido en el ser humano por el sentido de la vista.

La evaluación de color en frutos, en un amplio sentido, involucra no solo los procesos fisiológicos o bioquímicos que se llevan a cabo en las plantas, sino también a la propiedad sensorial más importante asociada con el sentido de la vista: el color.

El color es la propiedad más importante para la evaluación sensorial en la industria alimentaria, ya que esta propiedad, puede hacer que un fruto sea aceptado o rechazado por el consumidor, aun sin haberlo probado.

Así, la evaluación de color, que incluye la síntesis y degradación de pigmentos en el interior del fruto y su interacción notable con la luz, es importante, para comprender la madurez y senescencia del fruto, así como también la determinación en muchos casos de su calidad y puede sugerir incluso factores como lo son el índice de madurez y alteraciones físicas. (24).

Las frutas y verduras tienen un atractivo especial ya que son notables para el ser humano gracias a los sentidos que son los medios con los que percibe y detecta el mundo que lo rodea. (24).

Aun así y con todo lo que involucra la evaluación de color en frutos, la medición de color no solo depende de la evaluación visual (vista), si no que puede efectuarse por ello, a través del uso de escalas preestablecidas de color o instrumentos especiales (colorímetros, espectrómetros, etc.) diseñados para su determinación. (24).

**II. OBJETIVO GENERAL.-**

El principal objetivo de este trabajo de revisión bibliográfica, es el estudio de las propiedades colorimétricas de los pigmentos presentes en los alimentos, y las condiciones químicas que influyen en el color final del producto, incluyendo las características cromáticas de estas sustancias coloreadas, esto con la finalidad de incrementar la existencia de información, así como rescatar la importancia y beneficio práctico de la evaluación de color en frutos, dentro de las pruebas físico-químicas realizadas en el laboratorio de alimentos.



### III. REVISION BIBLIOGRAFICA.

## CAPITULO I

### 1.1 FISILOGIA DE LAS PLANTAS.-

Entendemos por desarrollo al conjunto de eventos que contribuyen a la progresiva elaboración del cuerpo de la planta y a la capacidad para obtener alimento, reproducirse y adaptarse plenamente a su ambiente. El desarrollo comprende dos procesos básicos: crecimiento y diferenciación. El crecimiento denota los cambios cuantitativos que tienen lugar durante el desarrollo, mientras que la diferenciación se refiere a los cambios cualitativos.

El crecimiento se produce con alargamiento o expansión celular; incluyendo tanto división como expansión de las células. La expansión celular es, generalmente, un proceso polarizado; en otras palabras, durante el crecimiento, las células se expanden siguiendo una dirección predeterminada, es decir, se elongan. Durante la elongación, la pared celular primaria pierde parte de su rigidez y se extiende gracias a la fuerza generada por la presión de turgencia. El control primario de la división celular en las plantas reside en el ciclo celular, que se define como la secuencia de eventos bioquímicos y morfológicos (síntesis de DNA y replicación de los cromosomas, mitosis y citocinesis) que conduce a la generación de dos células hijas.

El ciclo vital de las angiospermas transcurre con alternancia de generaciones heteromórficas entre un gametofito haploide y un esporofito diploide. En este caso, los gametofitos están muy reducidos e incluidos en los esporofitos, aunque en los vegetales inferiores ambas generaciones pueden estar formadas por individuos independientes.

Las plantas son las estructuras axiales (se ordenan simétricamente sobre un eje) y polares (los extremos apical y basal del eje son diferentes). El eje mayor (orientado perpendicularmente a la superficie de la tierra) está definido por el tallo y la raíz principalmente, mientras que los ejes subsidiarios forman las ramas y raíces laterales, que también son estructuras polares. La polaridad del eje determina, por lo tanto, la organización básica y el plan del cuerpo de las plantas. (3).

### 1.1.1 EL CLOROPLASTO

Los cloroplastos de las plantas terrestres son orgánulos citoplasmáticos en forma de discos que se encuadran en la clase más diversa de los plastos. En estos organismos hay unos 40 cloroplastos por célula.

Las dos membranas del cloroplasto poseen una estructura continua que delimita completamente el cloroplasto. Ambas se separan por un espacio intermembranoso llamado a veces espacio periplastidial. La membrana externa es permeable, pero no tanto como la interna que contiene proteínas específicas para el transporte. La cavidad interna, llamada estroma, contiene ADN circular, ribosomas (de tipo 70S, como los bacterianos), gránulos de almidón, lípidos y otras sustancias. También hay una serie de sáculos delimitados por una membrana llamados tilacoides los cuales se organizan en los cloroplastos de las plantas terrestres en apilamientos llamados *grana* (plural de *granum*) como se observa en la Fig. 1. Las membranas de los tilacoides contienen sustancias como la clorofila, los carotenoides, los pigmentos fotosintéticos y distintos lípidos; proteínas de la cadena del transporte electrónico fotosintético y enzimas, como ciertas ATPasas.

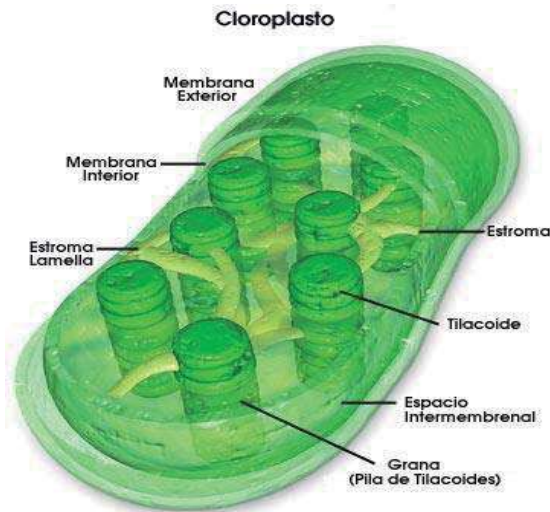


Fig. 1 El cloroplasto. (44).

Al poseer su propio ADN llevan a cabo la división independientemente de la célula. Un cloroplasto procede de un proplasto ya procedido (división por bipartición), y que después de la captación de luz se transforma en cloroplasto maduro, diferenciándose de los demás tipos de plastos, como los cromoplastos, para almacenamiento de pigmentos, y los amiloplastos, para el almacenamiento de almidón. (40).

## **1.2 FISILOGIA DEL FRUTO.-**

### **1.2.1 ONTOGENIA VEGETAL.-**

La ontogenia de un individuo de cualquier especie comprende la totalidad del desarrollo del mismo, desde su formación hasta que se completa su ciclo vital, iniciándose entonces un nuevo ciclo. La ontogenia vegetal comprendería el segmento de desarrollo entre dos puntos equivalentes del ciclo de vida de un individuo de la especie. Durante la ontogenia de una planta espermatofita, donde la fase esporofítica es la dominante, pueden distinguirse, desde un punto de vista fisiológico, las siguientes etapas: embriogenesis, formación de semillas, germinación, desarrollo vegetativo, desarrollo reproductivo, senescencia y muerte de la planta. De una forma general, el desarrollo de una planta se divide en las fases o estados conocidos como juvenil, maduro o adulto y senescente.

El grupo más extenso y evolucionado del reino vegetal lo forman las llamadas plantas con flor a las que se conoce por diversos nombres: Angiospermas, Antófitos y Magnoliófitos.

Las angiospermas se encuentran distribuidas en el planeta en su mayoría en la tierra firme, son sin duda las plantas de mayor utilidad para el hombre. La mayor parte de los alimentos de origen vegetal proceden de ellas, forman la base de la nutrición de nuestra especie, papel que se completa con unas cuantas especies adicionales (legumbres, hortalizas, café, etc.). De las angiospermas se obtienen asimismo productos de usos muy diversos en la industria o la medicina, ya sea aceites, resinas, pastas de celulosa o alcaloides. (3).

### **1.2.2 HISTORIA**

Las angiospermas son un grupo de monofilético (es decir, procede de una sola línea evolutiva) que surgió de las gimnospermas. A partir del estróbilo, y como consecuencia de un fenómeno de adaptación a las nuevas condiciones que comenzaban a darse en el planeta durante el Jurásico (hace unos 155 millones de años), algunas gimnospermas produjeron diversas estructuras parecidas a las flores verdaderas.

La selección natural actuó sobre ellas y el resultado fueron unas características que se extendieron rápidamente y confirieron a sus portadores mayor capacidad de resistencia frente al medio; esta nueva línea se separó del resto de las gimnospermas y dió lugar así, a lo que conocemos como angiospermas. Hace unos 100 millones de años, se produjo en el lapso de unos pocos millones de años una gran transformación de la flora terrestre, que pasó a estar dominada por las angiospermas, cuya diversificación prosiguió hasta la actualidad, en que se cuenta con mas de 200 000 especies. (30).

### 1.2.3 DEFINICION

En un sentido amplio, los frutos son flores o partes de la flor (con órganos auxiliares) o inflorescencias en estado de madurez que albergan las semillas, hasta que maduran, protegiéndolas y facilitando su dispersión. (3).



Fig. 2 Frutos. (46).

La fertilización del ovulo comúnmente induce el desarrollo de una semilla y cuando se induce el desarrollo de una semilla sin fertilización se presenta un fenómeno conocido como partenocarpia (el desarrollo de un ovario sin semillas). (14).

Con la evolución, las semillas se asociaron en muchos casos a otros órganos de la planta constituyendo unidades complejas de diseminación de frutos. (3).

En vista de la variación en la estructura de las flores, las frutas son altamente diversas en su morfología. Además, las frutas derivadas de un mismo tipo de flor pueden seguir una ontogénesis diferente. Entonces los cambios que llevan al desarrollo de la fruta no se restringen al ovario, pero frecuentemente involucran accesorios no carpelares. (14).

Así el fruto es el resultado de la transformación de los carpelos que se produce tras la fecundación del óvulo y la participación a menudo de otros componentes de la flor. A medida que se va formando la semilla ya sea dentro o fuera del fruto (gimnospermas) los tejidos carpelares crecen y dan lugar al llamado pericarpo (tejido que rodea la semilla), y adoptan distintas formas y estructuras, con el fin de facilitar la dispersión de las semillas. (30).

Las semillas son los óvulos maduros y los frutos son básicamente los ovarios maduros que contienen las semillas. Sin embargo, algunas otras partes de la flor pueden también contribuir a la estructura de los frutos en algunas especies. En muchas plantas, la polinización es esencial tanto para la fertilización del óvulo y el desarrollo subsiguiente del embrión y las semillas, así como para el desarrollo del fruto. (15).

Los frutos verdaderos se encuentran delimitados en las angiospermas cuyos óvulos maduros o semillas se forman dentro de ovarios que maduran para

convertirse en frutos y las semillas de las gimnospermas se forman en la superficie superior de las escamas de los conos y no dentro de los frutos. (15).

Una vez formadas las semillas, dicho ovario se desarrolla y se transforma en fruto. Pero son los frutos de las angiospermas los que tienen mayor interés, como ya se mencionó. (3).

#### **1.2.4 REPRODUCCIÓN.-**

El fruto es el resultado de la reproducción sexual y por lo tanto, el desarrollo del fruto depende de la polinización y fertilización. (16).

En las angiospermas, la polinización tiene lugar mediante el viento y los insectos principalmente, y en mucha menor medida a través de otros agentes, como el agua, las aves, etc. (30).

Cuando el grano de polen llega el estigma, crece hacia el interior de la flor formando un tubo (tubo polínico), que pasa por el interior del estilo y llega, ya en el ovario, hasta el óvulo. El tubo polínico representa el gametofito masculino de las angiospermas y produce tres núcleos, uno vegetativo y dos generativos. Estos dos últimos son los gametos masculinos. Cuando el tubo polínico llega el óvulo, los dos núcleos generativos penetran por el micrópilo y uno de ellos se fusiona con uno de los núcleos del ápice del óvulo, la ovocélula, y el otro con el núcleo secundario, situado junto a las ovocélulas. De esa primera fecundación surge el cigoto. (30).

El cigoto así formado se divide transversalmente, originando varias células que constituyen el proembrión. De ellas, la (s) célula (s) delantera (s), orientada(s) hacia el interior del saco embrionario, se dividen sucesivamente en cuadrante hasta formar el embrión; las células restantes dan lugar al suspensor, que acerca aquél hacia el endospermo secundario o tejido nutritivo en formación. Este último, acaba convirtiéndose en un tejido de reserva que será consumido por el embrión antes o después de su germinación. De los tegumentos del promordio en desarrollo se forma el episperma o testa que lo envuelve. Cuando dicho promordio seminal alcanza la madurez, recibe el nombre de semilla. (3).

La planta pequeña, o embrión que se encuentra dentro de la semilla se desarrolla a partir de la unión de los gametos masculino y femenino y consta de tres partes básicas: 1) cotiledón o cotiledones; 2) hipocótilo y 3) epicótilo. La porción inferior del hipocótilo se denomina radícula, ya que se desarrolla como raíz primaria. El hipocótilo forma la porción del tallo que se encuentra hasta el primer nudo, mientras que el epicótilo da origen a todas las partes de la planta madura que se ubican por encima del primer nudo. El cotiledón se une al brote en el primer nudo. Este es una hoja embrionaria que puede servir como estructura de almacenamiento de nutrientes o puede desarrollarse como una estructura fotosintética a medida que germina la semilla. (16).

### **1.2.5 DESARROLLO DEL FRUTO.-**

En el desarrollo del fruto se aprecian varias etapas, como son: la formación de los tejidos ováricos; el desarrollo preliminar a la polinización del ovario; el crecimiento pos-fertilización, la maduración y la senectud de los frutos. La división y el crecimiento celular son los responsables del aumento del tamaño del ovario durante el desarrollo previo a la polinización. En algunos frutos muy grandes la división celular continúa durante un periodo subsiguiente a la polinización y la fertilización. El tamaño final es una consecuencia del aumento del número y tamaño de las células. (16).

Tras la fecundación o el estímulo partenocárpico del ovario, éste inicia su desarrollo hasta convertirse en fruto maduro. Esta transición tiene lugar en fases sucesivas, con características bien definidas, pero variables en duración, según las condiciones ambientales, especies y variedades.

Durante las 2-10 semanas siguientes a la antesis, según especies y variedades, el crecimiento de aquéllas es consecuencia de la división celular y se intensifica con el tiempo, dando lugar a una curva exponencial. Tras alcanzar un máximo de actividad, la mitosis cesa paulatinamente, al mismo tiempo que el alargamiento y el engrosamiento celular va adquiriendo importancia. Este nuevo período es de crecimiento lineal y en él el fruto adquiere, por término medio, hasta el 80% de su tamaño final, para culminar con una ralentización progresiva del crecimiento, que cesa, y el fruto cambia de color y madura.

Superada la fase de división celular, el fruto inicia un crecimiento lineal, caracterizado por el engrosamiento celular. Los frutos que más crecen son los que poseen espacios aéreos más amplios y reclaman, además, menores cantidades de carbohidratos desde el resto de la planta, en comparación con los frutos más densos. El crecimiento de los frutos durante esta fase no es uniforme, de hecho solamente crecen durante la noche, siendo este tipo de crecimiento prácticamente general para todos los frutos. Durante el día, la transpiración reduce el potencial hídrico del xilema, que alcanza valores más bajos, lo que afecta a ramas y frutos que aportan agua al torrente xilemático y, con ello, se reduce su expansión; cuando el potencial hídrico se recupera, durante la tarde y la noche, el crecimiento se reinicia y los tallos y los frutos recuperan su tamaño o aumentan de volumen. (3).

### **1.2.6 ANATOMIA.-**

En principio, en el pericarpo se distinguen tres capas en el exterior el epicarpo, que a veces es muy delgado; en posición intermedia el mesocarpo, que en algunos frutos adquiere consistencia carnosa; y en el interior el endocarpo, que recubre la semilla. (30).



**1.2.6.1 ESTRUCTURA Y FUNCIONES.-**

El cuerpo vegetativo de la gran mayoría de las angiospermas (excepto las tetracentráceas) dispone de los tejidos conductores más especializados del reino vegetal. Se trata del xilema y del floema.

El xilema transporta la savia bruta, es decir, el agua con las sales minerales disueltas que la planta absorbe a través de las raíces; efectúa dicho transporte a través de los vasos conductores. Además, actúa como tejido de sostén y da consistencia a la estructura, y así, en el caso de los árboles, constituye la madera.

El floema, a través de los vasos cribosos, se encarga de llevar la savia elaborada a las hojas hasta las diferentes partes de la planta. En los árboles, el floema forma la corteza. (30).

Las principales categorías morfológicas de los tejidos de las plantas comestibles son: yemas, pecíolos, raíces, tallos, hojas, inflorescencias y frutos.

- Raíces:

En estructura anatómica: la superficie epidérmica contiene corteza, compuesta de una fina pared de células y una parte central, el cambium, que contiene xilema (interior) y floema (exterior) con un parénquima asociado. Así existe una compleja estructura de material celular, en la que cada componente tiene una función fisiológica específica. Los procesos metabólicos normales se llevan a cabo en un tejido no especializado llamado parénquima y que constituye la mayor parte del volumen de la parte blanda y comestible de la planta. La estructura mecánica corre a cargo de tejido muy especializado llamado coléquima y escleréquima. Otra parte muy importante para el transporte de agua, constituyentes químicos y productos químicos de la acción metabólica son los tejidos vasculares (xilema y floema).

- Tallo:

Su estructura consta del córtex, situado entre la epidermis y el sistema vascular, y la médula, dentro de la región central de desarrollo celular.

- Hojas:

Las hojas de los tipos comestibles son órganos planos y extendidos, de tejidos incluidos en las categorías ya citadas, pero organizados de forma diferente. La capa epidérmica externa no es continua sino que aparece interrumpida por los estomas (que son los poros que permiten pasar los gases de la respiración y el vapor de agua). Y por debajo se encuentra una compleja estructura celular que contiene clorofila en los plástidos; son los llamados cloroplastos. Básicamente los últimos actúan como acumuladores de productos de reacciones metabólicas. En el centro de la hoja está el parénquima que contiene espacios intracelulares que van a permitir el paso de productos gaseosos de la fotosíntesis y de la respiración. El

sistema vascular consiste en la agrupación de venas en paralelo o en un sistema reticular.

- Frutos:

Los frutos ofrecen una amplia gama de estructuras anatómicas. Como las drupas (ej. ciruela), consta de exocarpo o piel fina, interior carnoso, conocido como mesocarpo y un hueso endocarpo que a su vez contiene la almendra. En los frutos en pomo (ej. La manzana) el exocarpo encierra un tejido carnoso que alberga las heces casculares y junto a estos están el exocarpo y el mesocarpo carpelares. A su vez éste contiene las semillas que están separadas por un endocarpo esclerenquimatoso, solo por mencionar algunos (17).

### 1.2.7 BIOQUIMICA.-

Para poder comprender los principios básicos de la prolongación de la vida de frutas y hortalizas es necesario estudiar algunas de las rutas bioquímicas.

La producción de dióxido de carbono en los tejidos de la planta, por la respiración, es uno de los fenómenos bioquímicos básicos.

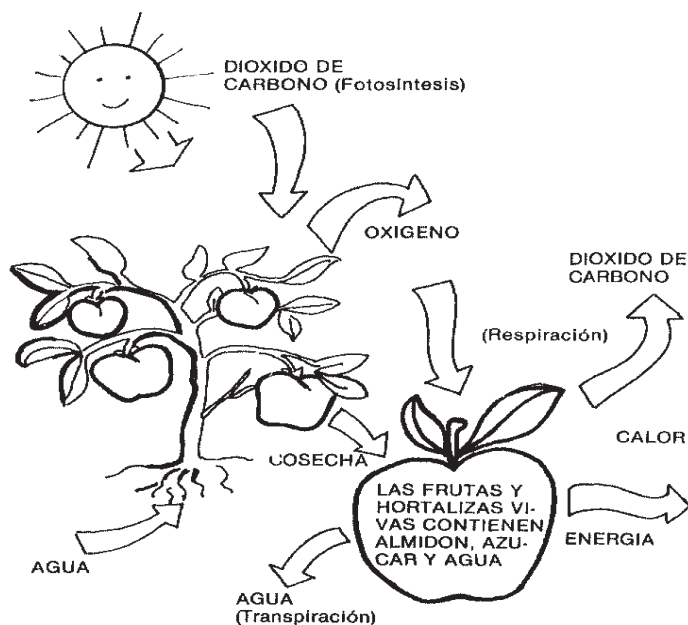


Fig. 3 Estructura y Funciones de la planta. (43).

Se observa que los frutos de altos niveles de respiración (ej. Aguacate) tienen un periodo de vida relativamente corto entre 10 y 15 días, en tanto que los que tienen niveles de respiración bajos no. Los productos que tienen alto grado de respiración tienden a generar almidón y perder dulzor rápidamente. El volumen de dióxido de carbono producido por unidad de masa de muchos productos y por



unidad de tiempo llega a su punto máximo poco después de su cosecha. Este rápido ascenso es el cociente respiratorio refiriéndose al periodo climatérico y es particularmente importante porque indica el momento en que empieza el envejecimiento. El aguacate y la pera muestran un acusado climaterio en tanto que otras frutas no es marcado. Determinados tallos o raíces y tejidos foliares tienen un cociente de respiración constante que a menudo declina con el inicio de la senescencia.

El efecto de la temperatura sobre el cociente respiratorio es más acusado en espárragos, plátanos pues en estos el cociente respiratorio es lineal con la temperatura.

La emisión de calor es considerable durante la respiración, esto quiere decir, que cuando hay que transportar frutos a largas distancias es necesario refrigerar para mantener la calidad.

Durante la evolución del dióxido de carbono, se absorbe oxígeno para mantener el ciclo bioquímico de la materia viva; por consiguiente si se retardan estos procesos se alargará el período de vida útil. Esto es esencialmente lo que se hace en el almacenamiento en atmósfera controlada en la que la concentración de dióxido de carbono en el medio ambiente es mas alta y consiguientemente regula la senescencia del producto. Un método alternativo para controlar los procesos bioquímicos es el empleo de hormonas.

El etileno es el compuesto más usado para activar la maduración, pero una serie de diferentes compuestos son válidos para el control fisiológico, como ej. Auxinas, giberelinas y abscisinas. (17).

El proceso de abscisión implica cambios anatómicos y bioquímicos que culminan con la separación física entre el fruto y la planta. El papel de las hojas en el proceso del cuajado (transición del ovario de la flor al fruto en desarrollo) es consecuencia de su capacidad para sintetizar y exportar metabolitos al fruto en desarrollo. El aporte de azúcar desde las hojas al fruto resulta crucial para el cuajado. El desarrollo de los frutos es consecuencia de la acumulación de metabolitos, que puede estar limitada por la incapacidad del propio fruto para acumularlos o por falta de disponibilidad en la planta, esto es especialmente acusado cuando el número de frutos es muy elevado. Así el crecimiento de frutos se lleva a cabo, generalmente, a expensas del crecimiento de la raíz. (3).

### **1.2.8 CLASIFICACIÓN.-**

Los frutos pueden dividirse en dos grandes grupos: secos y carnosos. En los primeros, el pericarpo se presenta membranoso o lignificado, mientras que los segundos contienen una gran cantidad de agua y es de consistencia jugosa (pulpa) (30).

Los frutos pueden clasificarse en los siguientes grupos principales: simples, agregados o múltiples.

Los frutos simples se forman a partir de un ovario simple y maduro pueden ser secos o carnosos. Los carnosos, entre los que se encuentran las bayas, el pepónide, la hesperidia, la drupa y el pomo tienen un pericarpo suave y carnoso

cuando maduran. En los frutos secos, cuando maduran, el pericarpio es a menudo duro y quebradizo. El pericarpio completo de la baya es carnoso y comestible como el tomate. Los pepónides son bayas que tienen una corteza dura alrededor del fruto (pepino y sandía) mientras que las hesperidias tienen una corteza correosa (cítricos). La drupa tiene un exocarpo fino, un mesocarpo que es grueso y carnoso y un endocarpo que es duro con consistencia pétrea (durazno, ciruela, aceituna). En el pomo, las partes producidas por el pericarpio están rodeadas de partes carnosas que se derivan de otras piezas florales (manzanas, peras). El término dehiscencia se refiere a la apertura de la fruta en la madurez, lo cual permite que se diseminen las semillas. Los frutos secos pueden ser indehiscentes cuando la pared del fruto no se parte en un punto determinado o en la madurez (16).

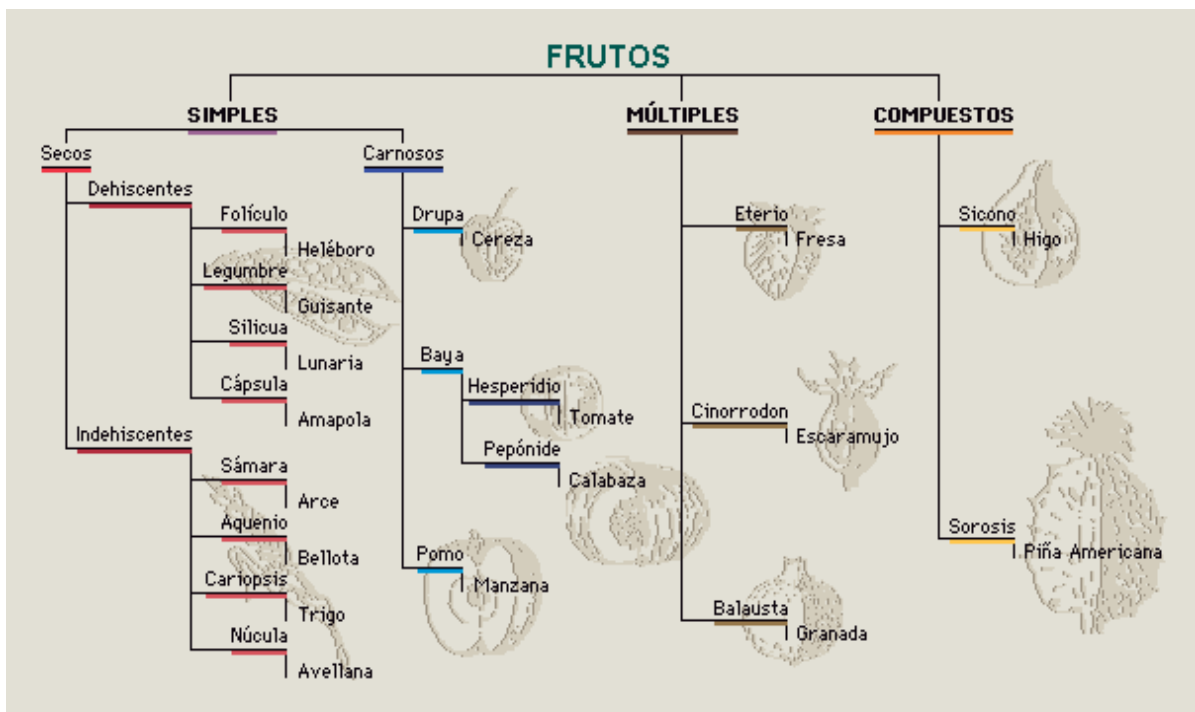


Fig. 4 Clasificación de Frutos. (46).

En la práctica, las plantas frutales se agrupan según sus ciclos y hábitos de crecimiento, de renovación de hojas y de adaptación al clima. (20).

1. Según su hábito de crecimiento:
 

Herbáceos	plátano, piña, papayo, fresa.
Enredaderas	granadilla.
Arbustos	mora, granada, guayaba.
Árboles grandes	aguacate, mango.
Árboles pequeños	cítricos, peral, manzano, cocotero.

2. De acuerdo al tiempo entre el transplante y la primera cosecha:

Anuales      fresa, mora.  
Bianuales    piña, plátano, papayo.  
Perennes     la mayoría de las frutas.

3. Por su hábito de renovación de hojas, anual o constante:

Caducifolios. Renuevan sus hojas anualmente, en otoño, como el manzano, durazno.

Perennifolios. Renuevan hojas gradualmente durante casi todo el año, manteniendo siempre hojas, como la mayoría de los frutales tropicales y subtropicales.

4. Según la adaptación al clima:

Clima frío    manzano.  
Clima medio mora.  
Clima cálido plátano.

### **1.3 JUVENILIDAD.-**

El término juvenilidad, se refiere a la condición de la planta cuando se encuentra en estado juvenil. El estado juvenil es el estado vegetativo que normalmente en la planta es caracterizado por un crecimiento vegetativo muy importante en el que se puede inducir crecimiento de tipo reproductivo.

La duración de este período juvenil es muy variable, desde unos pocos días o semanas en la planta herbáceas hasta varios años en las plantas leñosas. Por el contrario, se reconoce como fase adulta o madura de una planta el período en que es capaz de florecer cuando se dan las condiciones inductivas de este acontecimiento. El que una planta haya alcanzado la madurez no está determinado porque haya florecido, sino porque lo haga al recibir el estímulo adecuado. Es posible que una planta florezca anormalmente en estado juvenil en respuesta a determinados tratamientos químicos. Por tanto, la capacidad de florecer es una condición necesaria pero no suficiente para que se dé el cambio hacia el estado adulto. Solo si esa capacidad se mantiene sin la ayuda de ningún estímulo artificial, se puede decir que ha habido transición del estado juvenil al adulto. A esta transición se le suele llamar cambio de fase.

La existencia de un período juvenil puede ser una ventaja interesante para las plantas, porque permite dirigir los productos de la actividad fotosintética hacia órganos y tejidos en crecimiento en vez de ser destinados al desarrollo de las complejas estructuras reproductivas. (3).

#### **1.4 MADURACIÓN.-**

La maduración se define como el conjunto de cambios externos e internos, de sabor y de textura que un fruto experimenta cuando completa su crecimiento. Esta fase de su desarrollo incluye procesos de la coloración del pericarpio, el descenso en el contenido en almidón, el incremento de la concentración de azúcares, la reducción de la concentración de ácidos, la pérdida de firmeza, junto a otros cambios físicos y químicos. Superada esta fase, el fruto pierde turgencia, aumenta su sensibilidad a las condiciones del medio, pierde el control metabólico e inicia su senescencia. El proceso de la maduración varía con los frutos. Así pomos, drupas y bayas, por ejemplo, modifican profundamente las características de sus pericarpio, mientras que algunas legumbres, folículos y drupas, es el endocarpo o las semillas los que cambian. A efectos del proceso de maduración, es posible agruparlos en dos grandes grupos según su comportamiento fisiológico. Unos acumulan almidón durante su crecimiento y, en la maduración, lo hidrolizan a monosacáridos, glucosa y fructosa sobre todo, como ellos exigen una gran cantidad de energía, en estos frutos la maduración se caracteriza por un aumento de la respiración. Otros acumulan directamente monosacáridos durante su crecimiento y, por lo tanto, durante la maduración no experimentan incrementos significativos de su tasa respiratoria. Los de este primer grupo son los frutos climatéricos, y los del el segundo los frutos no climatéricos. Al incremento de la respiración se le denomina climaterio y da el nombre a los frutos que lo experimentan.

Los ácidos mas frecuentes de los frutos climatéricos son el ácido malénico (manzana, pera, tomate) y el ácido cítrico (kiwi y tomate). La razón entre el contenido de sólidos solubles y la concentración de ácidos libres recibe el nombre de índice de madurez, y se utiliza habitualmente como parámetro de referencia de madurez. El cambio de color es, asimismo, un proceso característico de la maduración de la mayoría de los frutos. La degradación de unos pigmentos y la síntesis y la acumulación de otros son, sin embargo, variables, cualitativa y cualitativamente.

La hipótesis sobre la coloración de estos frutos está basada en el transporte de carbohidratos, nitrógeno y hormonas al fruto, regulado por las condiciones climáticas. Mientras la temperatura permite el desarrollo de las raíces, las hormonas sintetizadas (giberelina y citoquinas) y el nitrógeno absorbido son transportados al fruto y previamente su cambio de color; a ello contribuye su desarrollo competitivo con la brotación que exige compartir el reparto de fotoasimilados. Cuando en el otoño las temperaturas bajan, el desarrollo radicular cesa, se detiene la síntesis hormonal, la absorción y transporte de nitrógeno, todo lo cual promueve la conversión de los cloroplastos en cromoplastos (y por lo tanto, la pérdida de color verde de la corteza del fruto), la síntesis de carotenoides y finalmente, su coloración característica. (3).

**1.5 SENESCENCIA.-**

Supera esta fase de maduración, el fruto pierde turgencia, aumentando su sensibilidad a las condiciones del medio, pierde control metabólico e inicia su senescencia. La formación de semillas y frutos está asociada a un proceso de envejecimiento irreversible de toda la planta que se conoce como senescencia. Cuando se examinan los procesos de senescencia se puede afirmar que dichos procesos ocurren en todas las partes de la planta y en todos los estados de desarrollo. La senescencia de los tejidos fotosintéticos ha sido más estudiada y en ella se ha observado cambios celulares complejos que presentan unas características comunes, que podrían constituir en su conjunto los síntomas de un síndrome de senescencia. Los primeros cambios que aparecen son la degradación de los cuerpos proteicos y una transición del retículo endoplásmico, que se torna tubular y vesiculado. El proceso sigue con la clarificación del citoplasma. En los estados finales, se fragmenta la membrana del tonoplasto y, por último, se pierde la compartimentación celular.

Como otros procesos programados, la senescencia, especialmente en su inicio, está sujeta a regulación por factores tanto endógenos como ambientales. Entre los cuales se encuentra la edad, el desarrollo reproductivo y los niveles de fitohormonas. Así, para un tejido como la hoja es su propia edad la que tiene influencia en el inicio. En general un descenso de la fotosíntesis en este órgano provoca el inicio de la senescencia. Entre las señales ambientales, se encuentran los diferentes tipos de estrés, tales como las altas temperaturas, la sequía, el estrés oxidativo, la deficiencia de nutrientes, la infección por patógenos, el daño mecánico y el exceso de sombra.

**1. Senescencia foliar.-**

No es solo un proceso degenerativo, sino un proceso de reciclaje en el que los nutrientes son transportados desde las células que envejecen a las hojas jóvenes, las semillas en desarrollo y los tejidos de reserva. Los tejidos en torno al sistema vascular, necesario para el transporte de nutrientes, son los últimos en envejecer. Estructuralmente, el patrón de senescencia celular está bien caracterizado. Por ejemplo, la pérdida de integridad del cloroplasto se produce relativamente pronto.

**2. Senescencia de flores y frutos.-**

Al igual que ocurre durante la senescencia de las hojas, el inicio y el desarrollo de la senescencia en las flores depende en muchos casos de la hormona etileno. Durante la senescencia, se produce una disminución brusca de los niveles de proteínas y RNA, así como un incremento en la actividad de enzimas hidrolíticas tales como proteasas y RNAsas. Las membranas también resultan afectadas durante la senescencia de los tejidos florales. La degradación de las membranas es secuencial y termina con la hidrólisis de lípidos y proteínas. Por último, el desvanecimiento del color es un fenómeno común en muchas flores durante el

envejecimiento. Ello es consecuencia de la actividad de las rutas catabólicas de los principales pigmentos, como carotenoides y flavonoides.

La maduración del fruto se inicia después de completarse la maduración de la semilla y tiene algunos aspectos en común con la senescencia foliar y se diferencia, sin embargo, en un aspecto importante y es que los compuestos resultantes de la hidrólisis de las macromoléculas no se exportan a otras partes de la planta, sino que se convierten y acumulan en forma de azúcares y ácidos para dar al fruto un sabor atractivo. Muchos de los cambios que se observan durante la senescencia de los frutos, bien en la planta o después de su recolección, son una continuación de los observados durante su desarrollo y maduración. Entre estos cambios están la pérdida de clorofila, la producción de carotenoides, la acumulación de antocianinos y los cambios en compuestos de naturaleza fenólica. Los cambios en carbohidratos incluyen la conversión de almidón en azúcares y el subsiguiente consumo de éstos en el proceso de respiración de los frutos, que puede llegar a ser activo. En general, el grado de deterioro final de un fruto recolectado es proporcional a su tasa respiratoria.

## **1.6 ABSCISIÓN.-**

Durante el desarrollo de las plantas, éstas se desprenden de órganos como frutos, hojas estructuras florales y pequeñas ramas como acontecimientos inevitables de su ciclo de vida. En muchos casos, la abscisión se relaciona directamente con la senescencia, ya que constituye el mecanismo mediante el cual la planta se desliga de órganos senescentes o deteriorados. Así, la abscisión forma parte del grupo de procesos que se dan en la planta para ajustar su estructura los cambios que se producen tanto en su propio desarrollo como en el medio. La planta renueva las estructuras que soportan su funcionamiento como organismo.

La senescencia, en muchos casos, va seguida de un proceso de abscisión del órgano senescente. La abscisión es también un proceso regulado en el que intervienen enzimas hidrolíticas de la pared celular cuya expresión será regulada hormonalmente. La abscisión aparece en sitios muy localizados que se diferencian en el desarrollo de pecíolos de hojas y de pedúnculos de frutos. (3).



## CAPITULO II

### 2.1 LOS PIGMENTOS VEGETALES.-

Las frutas y verduras tienen un atractivo especial para el consumidor, en parte debido a que poseen brillo y pigmentos atractivos (24), y que a los colores de las plantas influyen de manera importante en nuestras vidas. Estos colores se dan debido a la presencia de pigmentos en el interior de la planta y la interacción notable con la luz. La luz del sol se compone de un número diferente de longitudes de ondas y la composición de estas es llamada espectro. Cuando la luz llega a la planta, parte de estas longitudes de onda es absorbida por los componentes de los pigmentos mientras que otras son reflejadas o transmitidas a través del tejido. Lo que es visto como un color específico de las plantas, como el rojo de una flor o fruto es debido a la absorción de los pigmentos, sobre todo por las longitudes de onda en el espectro visible.

Las frutas y las verduras tienen un atractivo especial (24), su pigmentación en frutas maduras no actúa sólo como un indicativo para los consumidores sino también de los componentes responsables de esos colores tales como antocianinos o carotenos. (19).

### 2.2 CLASIFICACIÓN.-

Los pigmentos vegetales se clasifican en tres categorías principales: carotenos, clorofilas y flavonoides.

Los Flavonoides se subdividen en grupos que incluyen a las flavonas, flavonoides, leucoantocianinas, antocianinas y compuestos fenolicos relacionados. (24).

En la naturaleza los pigmentos tienen diferentes funciones. Para el hombre, el color, la forma y la ausencia de defectos son los principales parámetros de calidad en productos alimenticios. Si las frutas y verduras se manejan inadecuadamente, los pigmentos pueden experimentar modificaciones que dan lugar a la disminución de color o productos no atractivos por lo tanto no consumibles.

#### 2.2.1 CAROTENO

- Historia.-

En 1907 Willstatter y Mieg, aislaron el caroteno de una zanahoria y de hojas, establecieron su fórmula de 40 átomos de Carbono y 56 átomos de Hidrógeno. Un segundo compuesto fue aislado, la xantofila con una fórmula parecida pero que incluía en su fórmula átomos de Oxígeno, esta también se aisló de las hojas. (28).

Los carotenoides constituyen uno de los más importantes grupos de pigmentos y están presentes en toda planta y en familias de animales. Como colorantes son bien tolerados, debido a que se encuentran naturalmente presentes en los alimentos, son fácilmente metabolizables y sus metabolitos son benéficos para la salud. (28).

- Definición.-

Los carotenoides son pigmentos amarillos, naranjas o rojos liposolubles, localizados en los plastos: cloroplastos y cromoplastos (zanahoria), de los que pueden separarse al citoplasma, pertenecen los compuestos denominados isoprenos. Los carotenos deben sus vivas coloraciones a la presencia de numerosos dobles enlaces conjugados y a su facilidad para oxidarse y para prestarse a la isomería geométrica. (5).

Además, de la característica de ser pigmentos presentes exclusiva o fundamentalmente en frutas y verduras, los carotenos siempre acompañan a la clorofila en una relación de 3 a 4 partes de clorofila por 1 parte de carotenos (24).

- Clasificación.-

Se les divide en carotenos que contienen solo C e H y Xantofilas y pueden considerarse así 2 grupos:

1. Los carotenos: que son hidrocarburos, solubles en éter de petróleo y poco soluble en etanol.
2. Las Xantofilas: que son derivados oxigenados de los carotenos, estos compuestos son alcoholes, aldehídos, y ácidos, y son solubles en etanol y éter de petróleo. (8).

Los carotenoides se encuentran en las hojas junto a la clorofila, se les encuentra en papas, zanahorias y en frutas como los duraznos y las frutas cítricas. También constituyen los pigmentos principales de ciertas flores amarillas, anaranjadas y rojas. Y en numerosos microorganismos (algas, levaduras, hongos y bacterias fotosintéticas) en los animales también. Mientras que las plantas y los microorganismos sintetizan sus propios carotenos, los que se encuentran en tejidos superiores, animales se derivan de fuentes alimenticias. (8).

- Funciones.-

Los carotenoides son sintetizados continuamente y específicamente incorporados en la estructura del aparato fotosintético. Se demostró que hace tiempo que los pigmentos de los plástidos y no solo de la clorofila, podían mediar en la evolución fotosintética. Hoy se acepta que la luz absorbida por los llamados anteriormente "pigmentos accesorios", los carotenoides contribuyen en la fotosíntesis a través de la capacidad que poseen estos pigmentos para transmitir a



la clorofila la energía lumínica acumulada. Una de las funciones principales de los carotenos parece ser la fotoprotección, es decir, la protección de las células y tejidos contra los efectos dañinos de la luz. También en los sistemas alimentarios son importantes siendo la principal fuente de vitamina A. (8).

En las bacterias fotosintéticas o no, los carotenoides protegen la célula de la fotooxidación de otros pigmentos como las clorofilas, flavinas y porfirinas (5).

- Estructura.-

Los carotenoides presentan normalmente 40 átomos de C en configuraciones como las del  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno y licopeno. Los más frecuentes están compuestos por 8 restos de isoprenos, presentando un esqueleto de 40 átomos de C que incluye una porción central de 18 átomos de C con 4 grupos metilo unidos como cadenas laterales. Dos grupos finales, con estructura de anillo o de cadena abierta, unidos a la porción central sirven para distinguir los distintos carotenoides. Los carotenoides son poliinsaturados, algunos de los cuales presentan 11 dobles enlaces conjugados dobles como en el caso de licopeno y del  $\beta$ -caroteno.

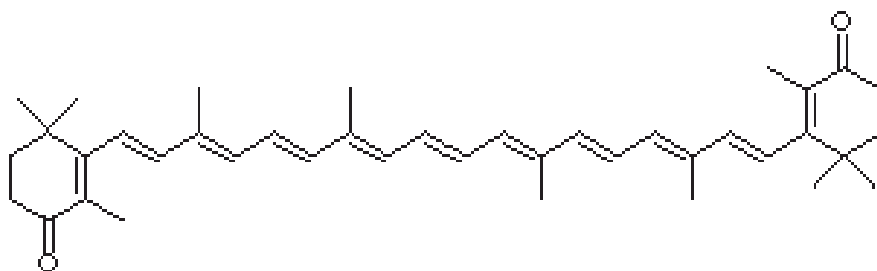


Fig. 5  $\alpha$ - caroteno. (47).

Los dobles enlaces conjugados son los responsables de la intensa coloración de los alimentos que contienen carotenoides. Aunque sean posible muchas de las configuraciones *cis*- y *trans*- de la estructura, los carotenoides que aparecen de forma natural con mayor frecuencia son de configuración *trans*-. Cuando el número de dobles enlaces aumenta el matiz se hace más rojo. Una disminución del número de dobles enlaces conjugados incrementa el color amarillo: Por lo tanto, el alfa-caroteno es menos naranja que el beta-caroteno. Además de contribuir al color atractivo de las frutas y verduras, la mayoría de los carotenos son precursores de vitamina A.

En cuanto a su estabilidad, los pigmentos son poco afectados por los ácidos, álcalis, volumen de agua o tiempo de cocción. Aunque el contenido total de carotenos no se modifica en las verduras calentadas en agua, se produce un cambio de color visualizado, se atribuye esta propiedad de la reducción de la

intensidad de color a las diversas formas de aumento de isómeros *cis*-, de beta-caroteno durante la cocción. El alto grado de insaturación de los carotenoides les hace susceptibles a la oxidación, dando lugar a la pérdida de color, tras la deshidratación de los alimentos que contienen. La pérdida o reducción de color es probablemente resultado de la reacción de peróxidos y radicales libres, producto de la oxidación de lípidos, con los carotenoides (24).

### 2.2.2 CLOROFILAS.-

- Definición.-

El mundo de las plantas es dominado por el color verde, lo cual es el resultado de la presencia de las clorofilas, los pigmentos verdes de las plantas que se encuentran en concentraciones elevadas en los cloroplastos de las hojas, al igual que en otras partes de la planta. Estos pigmentos verdes fotosintéticos actúan como fotorreceptores para atrapar la energía de la luz y convertirla en energía química. El paso de fijación de dióxido de carbono y la liberación de oxígeno.

Las clorofilas son insolubles en agua, por lo que estos pigmentos no pueden disolverse en la savia celular de la planta o en el agua de cocción. Son solubles en grasas y disolventes como éter etílico, acetona, cloroformo, disulfuro de carbono y benceno (24).

Los compuestos de los cloroplastos están íntimamente relacionados con otros componentes lipofílicos, así como la membrana protéica. Las frutas y verduras contienen clorofila a y b, en aproximadamente 3 a 1.

Las clorofilas a y b son las formas predominantes en la naturaleza y difieren ligeramente en su estructura. Hay otras dos clorofilas c y d que se encuentran en un número relativamente limitado de especies, por ejemplo, la clorofila c es encontrada en algunas plantas marinas.

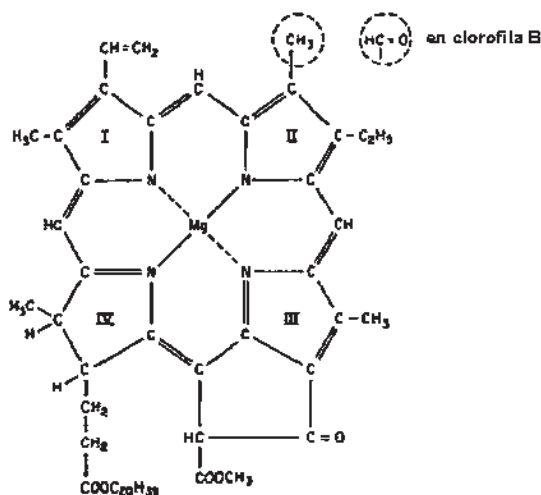


Fig. 6 Estructura de Clorofila a y b. (48).

La clorofila es un pigmento fotosintético, cuya función es el proceso de absorción y conversión de energía luminosa. Existen distintos tipos de clorofilas, pero todos se caracterizan por tener un anillo tetrapirrólico cíclico, tipo porfirina, con un catión metálico de Mg (magnesio) ligado en el centro del anillo: También en su estructura una larga cadena hidrófoba de fitol que les facilita el anclaje dentro de zonas o estructuras poco polares, debido a esta estructura, las clorofilas son capaces de absorber la radiación luminosa de la zona del azul y del rojo, por ello son de color verde dando al mundo vegetal su color propio y característico. (3).

La estructura posee 4 anillos pirrólicos unidos formando un núcleo porfirinico y su átomo de magnesio al centro es quelado por 4 nitrógenos de los grupos pirrol. Dos grupos éster, un fitol y un metilo, son partes de la molécula. El grupo fitol es responsable de la insolubilidad de la clorofila en el agua. La clorofila a es de color azul-verdoso, mientras que la b es de color amarillo-verdoso.

Cuando las verduras se colocan en agua hirviendo, el efecto inmediato es la intensificación de color. Un factor es la expulsión de gas de los espacios intercelulares, que en las verduras crudas refractan la luz y hace el color más pálido. Durante el cocinado, los cloroplastos se retraen y agrupan en el centro de una masa de protoplasma coagulado. La clorofila permanece en los cloroplastos pero esta es protegida por la membrana plástida de la savia celular ácida. Por lo tanto puede formarse feofitinas de coloración verde oliva débil. La velocidad y extensión del cambio de feofitinas esta influenciada por diversos factores, incluidos el tiempo de calentamiento, pH, temperatura, enzimas y metales.

Las modificaciones en la molécula de clorofila que pueden afectar el color incluyen la pérdida de magnesio, la eliminación de grupos éster, fitol y metilo y la oxidación del anillo. La duración del período de calentamiento influye sobre la alteración del pigmento.

Las clorofilas son sensibles a la degradación por ácidos, particularmente ácidos carboxílicos como los presentes en frutas verduras, el magnesio de la molécula de clorofila es desplazada y sustituido por dos átomos de H. Las moléculas carentes de magnesio se denominan feofitinas, las procedentes de la clorofila a, feofitinas a y las procedentes de la b, feofitinas b. La feofitina a es de color verde grisáceo y la feofitina b es de color verde amarillento débil.

La temperatura utilizada para escaldar las verduras puede afectar la conversión de clorofila en feofitina. La mayor conversión de clorofila en feofitina se acompaña de disminución en el pH y pectinas dispersables en agua.

Los derivados de la clorofila formados por eliminación del grupo fitol por la enzima clorofilasa o por álcalis son solubles en agua, y son los responsables del color grisáceo visto algunas veces en el agua utilizada para el cocinado de verduras. La actividad de clorofilasa da lugar a la formación del alcohol fitol y de clorofilida, derivado de la clorofila de color verdoso y soluble en agua. (24).

### **2.2.3 FLAVONOIDES.-**

Mientras que el verde es el color dominante en plantas, otros colores tienen una atracción para el hombre y los animales. Muchos de los intensos colores de las frutas o vegetales son el resultado de pigmentos flavonoides y compuestos muy cercanos. Estos representan una larga clase de compuestos con un diverso rango de colores.

Numerosas variaciones de color son derivadas de las diferencias estructurales entre compuestos y la relativa concentración de pigmentos específicos en el interior de las células.

Los flavonoides son encontrados tanto en citosol como en vacuolas. La mayoría de los pigmentos flavonoides existen en los tejidos de las plantas vivientes como glicosidas donde uno o más de sus grupos hidroxilo están unidos a un azúcar.

- **Antocianinas.-**

Son uno de los flavonoides más importantes este grupo es soluble en agua y son fácilmente disueltos en los fluidos celulares más que en los cuerpos lipoidales.

Como algo adicional a sus características coloridas también poseen propiedades antioxidantes. Además muestra respuesta al cambio de pH, el efecto del calor en las antocianinas es bien conocido, la degradación sigue una cinética de primer orden y cambia los pigmentos (que van desde un color naranja, rojo o combinaciones de azul). Pero se vuelven más estables si se incrementa su copigmentación con otros flavonoides, polifenoles, alcaloides, aminoácidos o ácidos orgánicos. La copigmentación protege a las antocianinas contra la hidratación, de esta manera preservan un color rojo.

Las antocianinas son pigmentos rojos, púrpuras o azules que se encuentran en la savia celular de diversas frutas y unas pocas hortalizas, son responsables del brillo de las pieles rojas de los rábanos, de las pieles rojas de las patatas y de la piel púrpura oscura de las berenjenas. El color rojo de la lombarda se debe a la presencia de una antocianina que se encuentra confinada a las capas celulares de la superficie de la hoja. El color de las antocianinas varía con la estructura molecular. Si aumenta la hidroxilación de la molécula aumenta la coloración azulada. (18).

- **Estructura.-**

Las antocianinas contienen grupos hidroxilos en posiciones 3, 5 y 7 y son glicósidos, a diferencia de las correspondientes antocianinas, que no presentan azúcares y que son raras en la naturaleza. La fracción azucarada normalmente está unida al grupo hidroxilo de la posición 3. Los azúcares encontrados en los glicósidos pueden ser glucosa, ramnosa, arabinosa, fructuosa y xilosa. La porción

azúcar es la responsable de la solubilidad. Las sustituciones en el anillo B dan lugar a la formación de diversas antocianinas.

El color de la antocianina varía con las diversas estructuras moleculares, cuando se incrementa la metilación de los grupos hidroxilos, se incrementa la tonalidad rojiza, y si solo se incrementa la hidroxilación se vuelve mas azul, el color de las antocianinas esta influenciado también por otros compuestos fenolicos. Las antocianinas son deficientes de electrones. El color varía con el pH. La molécula asume configuración de un catión en medio ácido y es de color rojizo. El color es más intenso a pH muy bajos. La disminución del pH de las soluciones de antocianinas disminuye también la luminosidad. La molécula no tiene carga a pH neutro y es de color violeta. Con la adición de álcalis, las flavonos y flavonoles se vuelven amarillos, mientras que las antocianinas se vuelven azules y la mezcla de los dos colores aparece verde.

Las antocianinas que tienen dos o más grupos hidroxilos adyacentes no sustituidos reaccionan con el hierro, aluminio o estaño para formar complejos grisáceos, azulados o de color pizarra. Estos metales quelados cuyo color depende de los metales implicados y de los lugares de quelación del pigmento hacen al alimento atractivo o no.

Debido a su acidez, la mayoría de las frutas que contienen antocianinas normalmente no experimentan cambios de color indeseados en el cocido. Diversos factores influyen en la velocidad a la que se descompone un pigmento y se deteriora su color: Una alta temperatura de almacenamiento, pH elevado, el oxígeno, la presencia de azucares y ácido ascórbico, favorecen su destrucción, mientras que valores bajos de pH favorecen la conservación.

Hay otros compuestos como las antoxitinas que son incoloras o amarillas pálidas, solubles en agua y que se encuentran en vacuolas de las células de las plantas, se presentan en cebollas y patatas y se vuelven amarillas en presencia de álcalis, tienen también la capacidad de quelar metales, lo que da lugar a la decoloración. Otros son las leucoantocianinas, compuestos fenolicos coloreados, que se transforman en antocianinas cuando se someten a ebullición en ácido clorhídrico, algunos productos parecen volverse rojos como consecuencia de esta conversión. (24).

## **2.3 SINTESIS DE PIGMENTOS.-**

### **2.3.1 SINTESIS DE CAROTENOIDES.-**

Los carotenos son compuestos de 40 átomos de carbonos, que se construyen de 5 subunidades de isoprenos, la más importante es el isopentil pirofosfato. Esta subunidad inicial es formada por una serie de pasos de la acetil coenzima A y acetil coenzima A, en la vía de los terpenoides. Las subunidades de isopreno son adheridas subsecuentemente, construyendo 20 átomos de carbonos

intermedios, geranio-geranil-pirofosfato, dos de los cuales se condensan para dar fitoeno con la típica estructura del caroteno.

La síntesis de carotenoides, tanto en bacterias como en plantas superiores, sigue la ruta general de la biosíntesis de isoprenoides cuyo inicio, hasta el intermediario de 20 átomos de carbonos, el geranil-geranil -PP. La unión de dos moléculas de geranil-geranil-PP por este radical conduce a la formación de un intermediario lineal de 40 átomos de carbono, incoloro, considerado como el primer carotenoide, que recibe el nombre de fitoeno.

El fitoeno ha sido el único intermediario encontrado en todos los tipos de células capaces de sintetizar carotenos, por los que se considera como el único iniciador de la ruta. A partir de él se inicia un deshidrogenación sucesiva que conduce a carotenos cada vez más insaturados. Así la pérdida de dos hidrógenos conduce a dos fitoflueno, sobre el que una nueva reacción producirá  $\phi$ -caroteno. En este punto existe una doble posibilidad. O bien el  $\phi$ -caroteno pierde dos protones o dos electrones, dando el siguiente carotenoide lineal mas, o bien se da una doble reacción (se pierden 4 protones y 4 electrones), acompañada de la ciclación de los extremos de la molécula, como lo que se obtendrá como producto la reacción  $\alpha$ -caroteno. El  $\beta$ -caroteno se formaría a partir de él por isomerización.

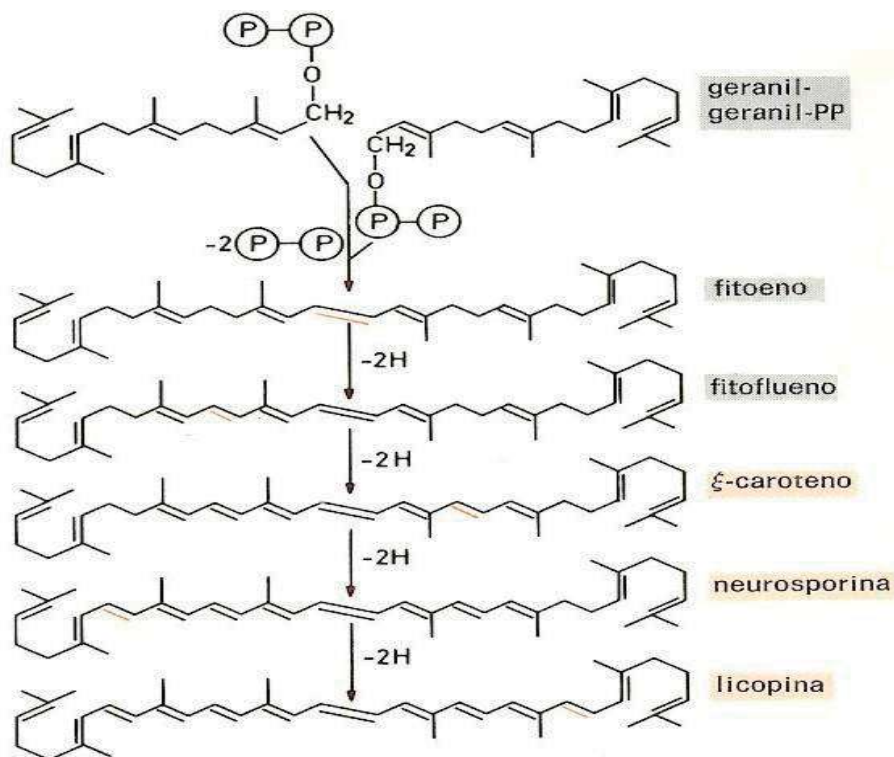


Fig. 7 Formación del esqueleto de 40 átomos de C del carotenoide y su deshidratación. (13).



El nuevo carotenoide línea, el neurosporeno, da lugar de nuevo a una doble posibilidad, bien sufre una nueva deshidrogenación para producir licopeno, bien la deshidrogenación va acompañada de ciclación de uno de los extremos de la molécula que dará lugar a la formación de *delta*-caroteno que, como el paso anterior, por isomerización, producirá *gamma*-caroteno.

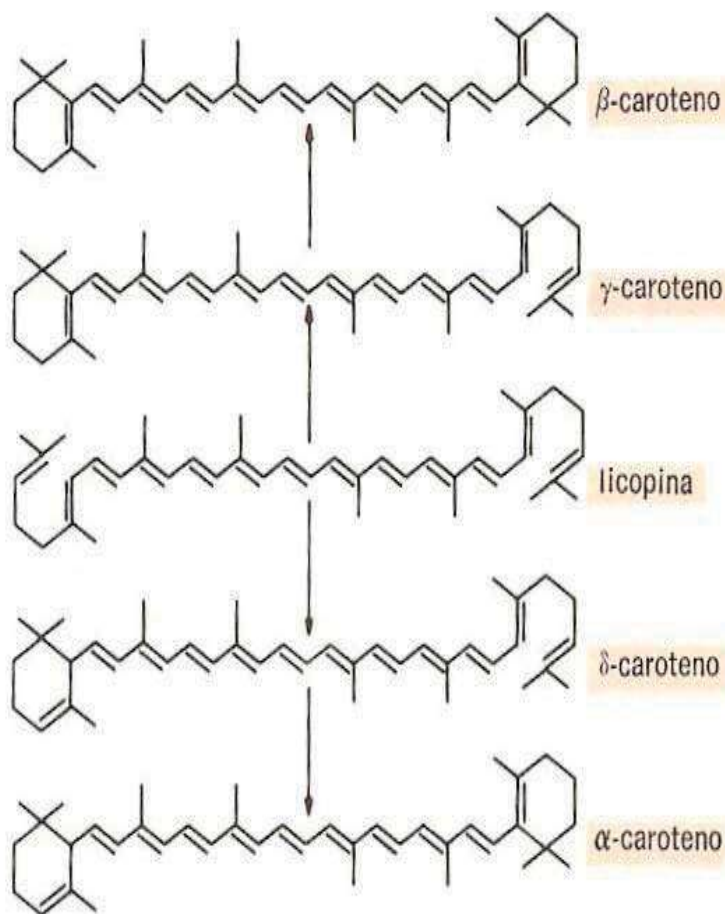


Fig. 8 Una de las posibilidades del ciclo de los carotenoides. (13).

La consecución de geranyl-geranyl-PP a partir de acetato se logra a partir de enzimas localizadas tanto en el cloroplasto como en el citoplasma (11).

### 2.3.2 DEGRADACIÓN DE CAROTENOIDES.-

Debido a su naturaleza altamente insaturada, los carotenoides tienen tendencia a oxidarse rápidamente, particularmente en las dobles ligaduras. Existen algunos indicios en cuanto a la oxidación y desintegración de los carotenoides, se inicia en un extremo de la molécula y no ocurre al azar; el proceso siempre ocurre en el extremo abierto antes que en el anillo terminal de ionona.

A medida de que se saturan las dobles ligaduras y finalmente se rompen, el color característico de los carotenoides va desapareciendo. El factor mas individual mas importante en la degradación de los carotenoides es la presencia de oxígeno o reactivos fuertemente oxidantes. La destrucción es más veloz a temperaturas altas. La pérdida de color es mucho más veloz en ausencia de agua. (8).

La oxidación de los carotenoides es debida al oxígeno y esta catalizada por enzimas como las lipoxigenasas. La oxidación es también acelerada por los iones metálicos, oxidantes químicos y la luz y es disminuida por la aplicación de antioxidantes, como el ácido ascórbico. (1).

En la degradación de carotenoides, los pasos iniciales envuelven pasos de oxigenación de la molécula. Este proceso de reacciones de oxigenación que ocurren a lo largo de la estructura del anillo y resulta en la formación de xantofilas. El sistema enzimático de degradación de carotenoides ha sido encontrado en cloroplastos y mitocondrias. Los dobles enlaces en la porción interior de la molécula están sujetos al ataque por lipoxigenasas y su actividad es acelerada por la disponibilidad de oxígeno, luz y ciertos metales.

### 2.3.3 SINTESIS DE CLOROFILAS.-

Los procesos de biosíntesis de clorofila se inician a partir de succinil coenzima A y glicina a partir de una enzima denominada  $\delta$ - aminolevulínico sintetasa (ALA- sintetasa), que usando piridoxal fosfato como factor cataliza la condensación de ambos con una descarboxilación concomitante para dar, como producto, ácido  $\delta$ - aminolevulínico (ALA).

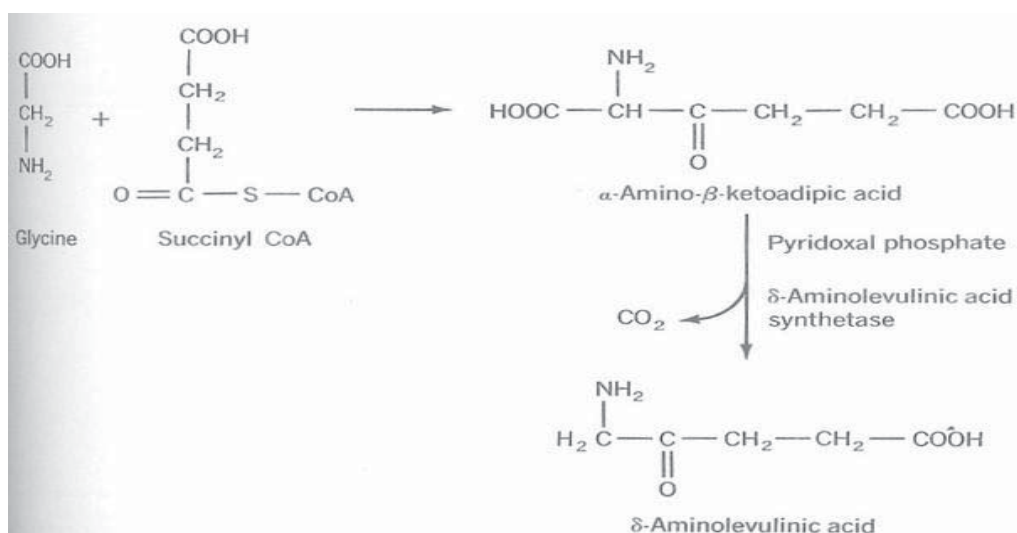


Fig. 9 Formación del ácido  $\delta$ -aminolevulínico. (12).



Dos moléculas de ALA son condensadas en una reacción de deshidratación por la enzima denominada ALA deshidrogenada para dar como producto, una molécula de porfobilinógeno (PBG): es importante decir que estos pasos ocurren tanto en plantas como animales ya que pertenecen a la ruta de biosíntesis de porfirinas. Productos de esta vía son tanto de clorofilas como grupos hemo.

El heterociclo pirrólico constituido por el PBG va a formar un compuesto tetrapirrólico que inicia la verdadera formación de porfirinas. La urógeno I sintetasa cataliza junto con una urógeno III cosintetasa la formación de uroporfirinógeno III primer tetrapirrol de la cadena. De entre los mecanismos postulados se acepta la utilización de tres moléculas de PGB por parte de la urógeno I sintetasa en una reacción, que liberando amoníaco, da como producto un tripirrol lineal, sustrato de reacción de la urógeno III cosintetasa que, en una nueva reacción desaminante condensaría la cuarta molécula de PGB para forma, como producto final, el uroporfirinógeno III.

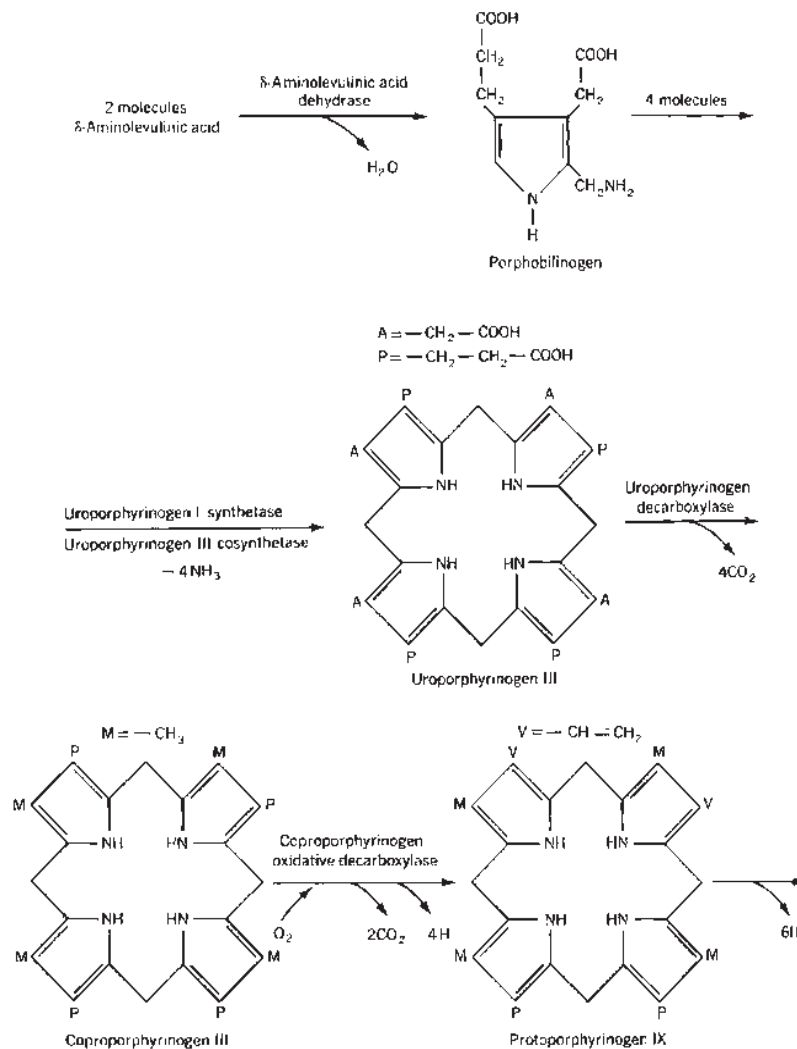


Fig. 10 Formación del Protoporfirinógeno IX. (12).

La transformación de uroporfirinógeno III en coproporfirinógeno III, siguiente eslabón de la cadena, se lleva a cabo por descarboxilaciones sucesivas de la molécula, catalizadas por una urógeno III descarboxilasa, se trata de descarboxilaciones individuales, ya que han sido aislados intermediarios con 7, 6, y 5 carboxilos en las funciones acético de los cuatro monopirroles formadores del uroporfirinógeno III. El coproporfirinógeno III es, por tanto, un tetrapirrol cíclico con mutilaciones en las posiciones 1, 3, 5, y 8 y sustituyentes propiónicos en posiciones 2, 4, 6 y 7.

Son precisamente los sustituyentes propionicos en las posiciones 2 y 4 los que van a sufrir modificaciones en el siguiente paso enzimático, al ser sustrato de una reacción oxidativa que los transforma en substituyentes vinilo. El producto de la reacción, catalizada por una coproporfirinógeno III descarboxilasa oxidativa, es la protoporfirina IX.

La protoporfirina IX es el punto más interesante en la cadena de síntesis de las protoporfironas, ya que marca el momento de ramificación que conduce, bien hacia clorofilas por inclusión de magnesio en la molécula, bien hacia grupos hemo, por inclusión de hierro. Este punto está documentado por la inclusión de una ferroquelatasa que realiza la inclusión de un cation ferroso en la protoporfirina IX para dar ferroprotoporfirina IX como producto de la reacción. Sin embargo el proceso de inclusión de magnesio en la molécula, conduce a la síntesis de clorofila, no está muy claro. La existencia de una Mg-quelatasa ha sido sospechada pero, no puesta de manifiesto, si bien, ha sido establecida la existencia de una Mg- protoporfirina IX como producto inmediato de la inclusión del magnesio en el núcleo tetrapirrolico.

Sobre esta Mg-protoporfirina IX actúa una Mg-protometil esteraza que, utilizando S- adenisilmetionina como donador de grupos metilo, esterifica el substituyente propionico en posición 6 para dar como producto de reacción una Mg-protoporfirina monometilester que, inmediatamente, en una serie de reacciones no bien conocidas, va a ser transformada en Mg-2,4-divinil feoporfirina a.

Se ha postulado que tras la transformación se lleva a cabo en tres pasos sucesivos que implican una doble oxidación del carbono del substituyente metilpropionato en posición 6 para sufrir por ultimo una ciclación en la que están involucrados el carbono del mismo substituyente y el puente metínico entre los pirroles C y D. (1).

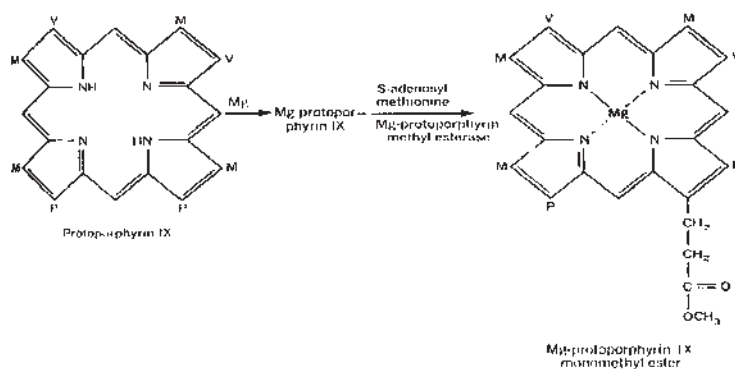


Fig. 11 Formación de Mg-protoporfirina IX monometilester. (12).

Una deshidrogenación de la Mg-2,4-divinilfeoforirina, llevada a cabo sobre el sustituyente vinilo en posición 4, conduce a la formación de una protoclorofila a.

Este intermediario es importante, ya que se presenta unido a una proteína llamada protoclorofilida-holocromo y, por otra parte, es el único sustrato de reacción fotoquímica en la secuencia biosintética de clorofilas. La transformación fotoquímica, implica una hidrogenación del doble enlace establecido entre las posiciones 7 y 8, lo que conduce a la formación de una clorofilida a que, incluyendo fitol por acción de un clorofilasa, da como producto final, clorofila a. (1).

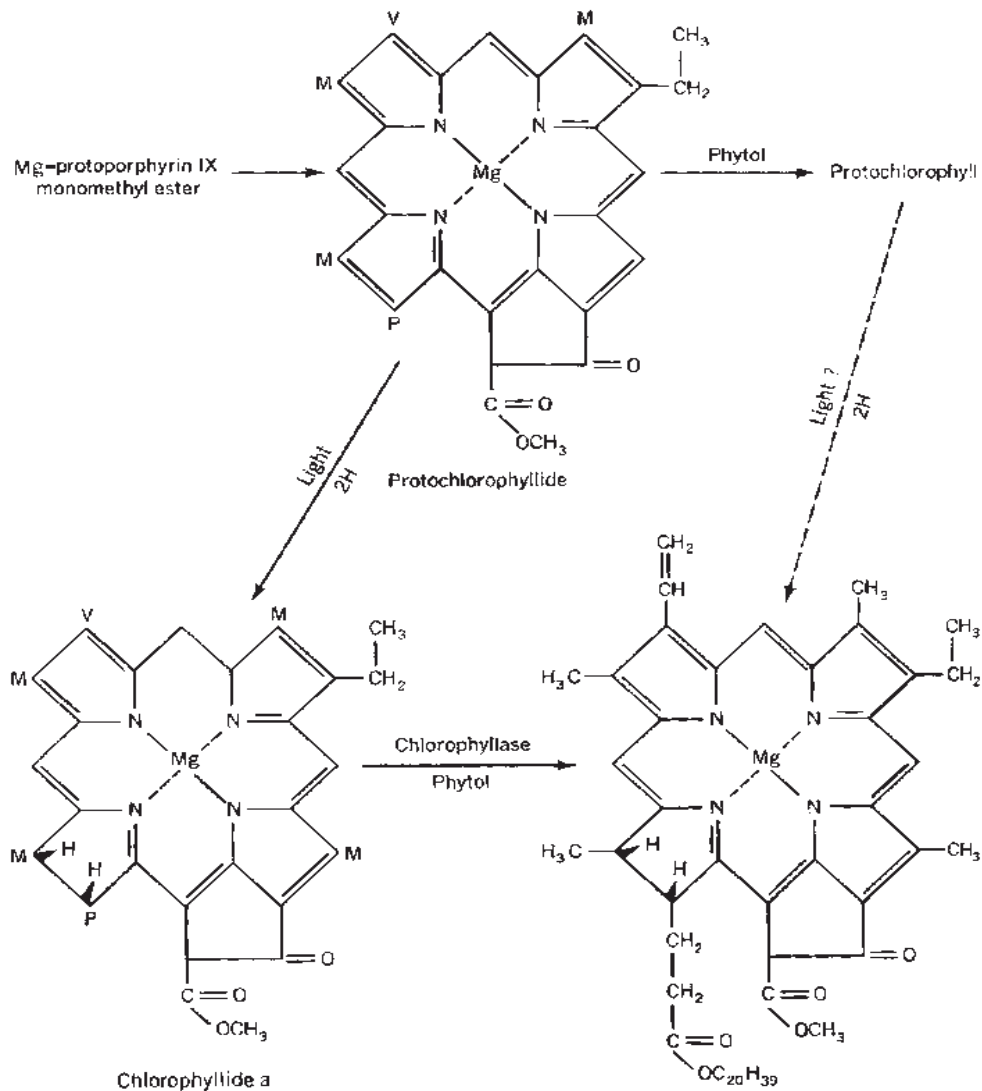


Fig. 12 Formación de Clorofila a. (12).

La protoporfirina IX, es por una parte, el origen de los protohemos, por incorporación de hierro y por otro lado de las clorofilas, por incorporación. A partir del estado de protoporfirina IX, y por etapas sucesivas, se consume la biosíntesis de la clorofila.

En la actualidad se considera que la secuencia de compuestos intermediarios durante la biosíntesis de las clorofilas, a partir de la protoporfirina IX, transcurre así:

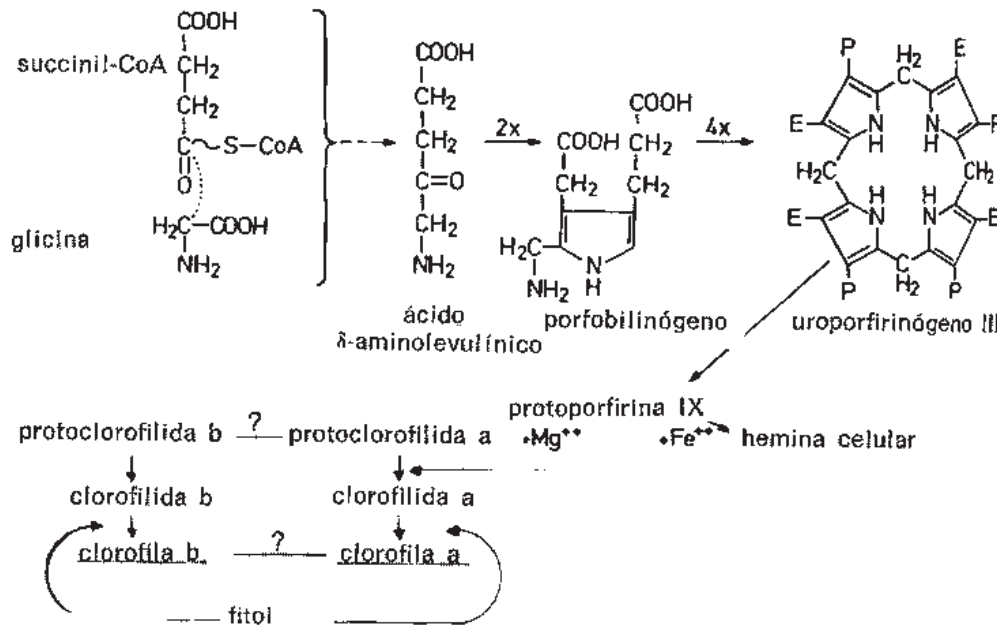


Fig. 13 Esquema de síntesis de porfirinas. (12).

La clorofila a que es de color verde-azul, difiere de a clorofila b porque esta es de color amarillo-verde y por la presencia de un solo grupo metilo. (11).

### 2.3.4 DEGRADACIÓN DE CLOROFILAS.-

La degradación de clorofilas en alimentos y tejidos senescentes causa un cambio de color brillante en un color café oliva y de amarillo a café o ausencia de color durante la senescencia de los frutos. Las rutas de degradación de clorofila incluyen la pérdida de fitol de la clorofilida o la pérdida de magnesio.

Hay evidencia de que la pérdida de fitol del lado de la cadena que da como correspondientemente clorofilida a o b, pero la pérdida más importante es el Mg. Esto ocurre en condiciones ácidas, siendo el Mg remplazado por protones para dar feofitinas a o b, como el resultado de un color cate. (1).

En muchos tejidos la pérdida de clorofila es parte de la transición de cloroplastos en cromoplastos conteniendo pigmentos carotenoides amarillos y rojos. La pérdida de clorofila puede ser mediada por varios procesos tales como,

la acción de las enzimas clorofilasa, oxidaciones enzimáticas o fotodegradación. Aun cuando los pasos de la degradación no son claros, las reacciones iniciales se parecen al reverso de los pasos finales de la ruta de síntesis.

### **2.3.5 CATABOLISMO DE CLOROFILAS.-**

El catabolismo de la clorofila cuando esta molécula aún esta unida a las proteínas del membrana en el cloroplasto y se inicia por la acción de la enzima clorofilasa, que separa la cadena de fitol. Posteriormente, el Mg de la clorofila se separa por acción de una quelatasa de Mg y el anillo tetrapirrólico se abre por la acción de una dioxigenasa. Los productos intermediarios que se producen durante el catabolismo de la clorofila se degradan en la vacuola. (3).

### **2.3.6 SINTESIS DE FLAVONOIDES.-**

La síntesis de los flavonoides comienza con la formación de su esqueleto C<sub>6</sub> C<sub>3</sub> C<sub>6</sub>, a través de la combinación de tres moléculas de malonil coenzima A con un cinamil coenzima A. Una chalcona es construida y con el cerrado del anillo se convierte a una flavona. En una serie de pasos secundarios, la flavona puede convertirse a cada una de las diferentes clases de flavonoides, por ejemplo, flavonol, flavona, etc. En la etapa final son convertidos a compuestos individuales como, cianidina, miricetina, etc., Como el grado de metilación incrementa los compuestos individuales se irán haciendo rojos mientras que las hidroxilaciones dan compuestos mas azules. En la coloración azul se da la formación de complejos con iones de aluminio y hierro.

## **2.4 CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y QUÍMICOS EN EL COLOR DE LAS FRUTAS.-**

La pigmentación de una fruta cosechada no solo actúa como un incentivo para los clientes sino también, de los compuestos responsables de esos colores tales como antocianinas y ciertos carotenoides, pues se piensa que tienen beneficios esenciales en la salud, incluyendo la protección contra el cáncer, por sus propiedades antioxidantes.

En verdad, los carotenoides son esenciales para la salud humana y no pueden ser sintetizados en el cuerpo por lo que deben ser adquiridos de la dieta. Alteraciones en el color de las frutas son normalmente relacionadas con la regulación de enzimas en las rutas bioquímicas especiales, particularmente en biosíntesis de carotenos y antocianinas. (19).

- Ruta de biosíntesis de carotenos.-

Los pigmentos que son los compuestos químicos responsables del color de la piel y carne del fruto, llevan a cabo muchos cambios durante la maduración y cosechado los frutos entre estos se incluye:

- 1) La pérdida de clorofila que es influenciada por cambios en pH, condiciones oxidativas y acción de las clorofilas.
- 2) La síntesis o revelación de carotenoides y
- 3) Desarrollo de antocianinas, que son especiales de cada fruta.

El cambio de color puede involucrar combinaciones de descomposición de clorofila y la síntesis y degradación de carotenoides y pigmentos fenolicos como antocianinas. Los cambios de color también pueden ser afectados por nutrición de N o K. El nitrógeno puede estar directamente asociado con el mantenimiento de color verde en frutas. (19).

El cambio de color acompaña maduración y en muchas frutas es muy utilizado como índice de madurez.

Un indicador de madurez muy utilizado, por lo sencillo de su prueba, es el cambio de color que experimenta el pericarpo o epidermis de los frutos. Éstos, en sus primeras etapas de desarrollo, presentan siempre el color verde debido a clorofilas. Este color representa el básico de fondo, sobre el cual en etapas más adelante del desarrollo van apareciendo otros, ya sea por formación de pigmentos o desaparición de clorofila, que enmascara la existencia de ellos.

Así, en frutos amarillos, al acercarse la madurez fisiológica, con la destrucción de clorofila, el color básico va cambiando de verde intenso a pálido o amarillo donde predominara luego la xantofila. En frutos de colores rojos, anaranjados o violáceos, se formaran franjas o manchas, estos comienzan a distinguirse entre el color verde. Esta desaparición del verde intenso el indicio mas claro de existencia ya de cierta madurez (9).

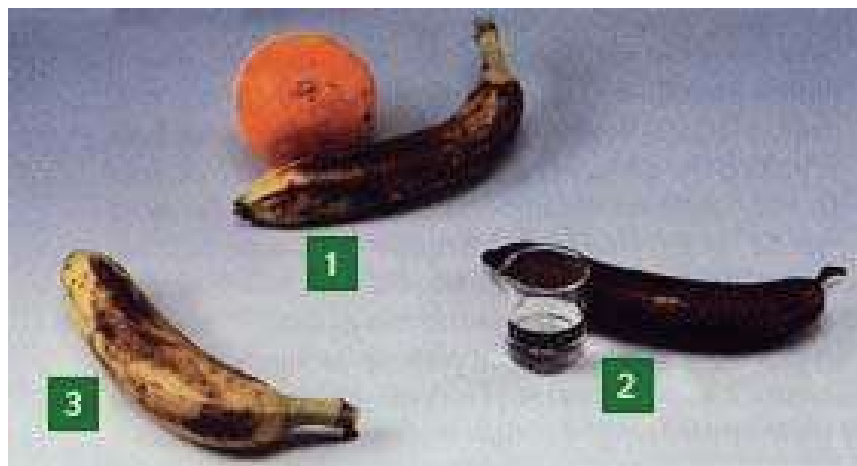


Fig. 14 Diferentes índices de madurez. (13).

Conforme va desapareciendo el color en la porción de hojas de color verde, se continúa con la formación de carbohidratos, que en algunos casos serán almacenados en los plastos como gránulos de almidón. Cuando el fruto es joven, los plástidos aún en el tejido interior contienen clorofila. Cuando la fruta va madurando la clorofila y los gránulos de almidón van desapareciendo progresivamente tornándose el fruto en color amarillo, como la clorofila va desapareciendo, los cuerpos grasos de las partes de los plastidos formalmente son ocupados por los gránulos de almidón. Los carotenoides de grasas solubles son después absorbidos para otra porción de plastidos por los cuerpos grasos, manifestándose en los frutos el color amarillo (4).

La calidad de la apariencia incluye factores como forma, tamaño, color, brillo, libertad de defectos y pudrición. Algunos defectos como: cicatrices, costras, manchado en corteza o decoloración, se originan antes de la cosecha como resultado de daño por insectos, químicos y daño mecánico. Los defectos poscosecha pueden ser físicos, fisiológicos y patológicos. La calidad de sabor depende de la dulzura (tipo de azúcar), agrietas y acidez (tipos y concentraciones de ácido, capacidad amortiguadora), astringencia (compuestos fenólicos). Sin sabores pueden resultar de las fermentaciones metabólicas (acetaldehídos, etanol, acetato de etilo). La calidad nutricional esta relacionada con el contenido de vitaminas, minerales, fibra dietética. (19).

## **2.5 FACTORES QUE INTERVIENEN EN DESARROLLO DE COLOR.-**

La intensidad luminosa es un factor del clima que influye notablemente en la coloración de las frutas, sobre todo en la formación de los colores secundarios, ya que la síntesis de los pigmentos respectivos representa una reacción fotoquímica, en la que es indispensable la presencia de la luz. Es común observar en frutos rojo marcas claramente delineadas de tonalidad amarillenta o verdosa, correspondiente a la presencia de la hoja que se mantuvo pegada a ellos e impidió, por falta de luz, la coloración de la parte correspondiente. La marca coincide con la forma de la hoja.

El aspecto colorido de los frutos ha sido desde siempre el indicador mas natural empleado por fruticultores, y lo sigue siendo. El término rayado es utilizado para indicar la aparición de cierto colorido que determina la posibilidad de corte de algunas frutas. El color de la pulpa es utilizado en algunas ocasiones para determinar también el grado de madurez. (9).

Las condiciones de clima a unos días o semanas antes de la cosecha, son determinantes, días despejados con noches relativamente frías son ideales para un buen color de fruto. Un periodo de calor, niebla y lluvia antes, puede resultar en un pobre color y condición del fruto. La aplicación de ciertos compuestos como el potasio mejora el color de frutos solo cuando los nutrientes estan deficientes. La deficiencia de minerales puede causar también pobreza en el color. (10).



## 2.6 COMPONENTES DE CALIDAD E INDICE DE MADUREZ.-

El color con el que se comercializan los frutos depende del estado de madurez y del consumidor. El color es un buen indicador del estado de madurez, tomando en cuenta la existencia de escalas de evaluación. La preferencia de la forma es una función del consumidor, según sus preferencias. Aun cuando la forma del fruto no esta relacionada con su composición química, o su sabor. Algunas veces el aspecto externo sufre alteraciones, entre estos defectos se destaca la podredumbre, daños por insectos y ablandamientos, estos daños no solo afectan su aspecto, sino que aceleran: la producción de etileno, el ritmo de respiración, la pérdida de humedad y la aparición de podredumbre, pudiendo generar sabor no deseado.

La firmeza esta relacionada también al índice de madurez. Los frutos que han alcanzado su desarrollo definitivo, pero que aun son verdes, son los más firmes. La firmeza de los frutos proporciona una mejor resistencia a los daños físicos y una mejor aptitud a la conservación y transporte. El sabor se debe a diferentes sustancias aromáticas presentes en pequeñas cantidades, como: azúcares, ácidos, y las interacciones entre ellos. (23).

## 2.7 PIGMENTOS FOTOSINTETICOS.-

En las plantas, la luz destinada a impulsar el proceso fotosintético es absorbida por dos tipos de pigmentos: clorofilas y carotenoides, que son moléculas cromóforas sensibles a la radiación luminosa y genéricamente llamadas pigmentos fotosintéticos. Estos no están libres en el aparato fotosintético, sino que se encuentran engarzados dentro de las proteínas fotosintéticas formando complejos pigmento-proteína. La asociación de estos pigmentos con polipéptidos de tipo no covalente, por lo que al desnaturalizarse la proteína se liberan los pigmentos.

El más importante es la clorofila, ya que es la biomolécula cromófora que interviene directamente en el proceso de absorción y conversión de energía luminosa. Debido a su estructura son capaces de absorber la energía en la zona del azul y también en el rojo del espectro, dando por ello su color verde tan característico y propio del mundo vegetal. Los carotenoides más abundantes en las clorofilas son el  $\alpha$ -y  $\beta$ -caroteno. La función fotosintética principal de ellos es proteger el aparato fotosintético mediante mecanismos de disipación y extinción de energía. De modo secundario, ser antenas alternativas, sobre todo en el espectro de 450 a 550 nm, en el cual las clorofilas absorben poco. Por absorber en esta zona del espectro, que corresponde a la luz azul-verde, los carotenoides de los cloroplastos son de colores amarillos y anaranjados.

Tanto las clorofilas como los carotenoides poseen en su estructura sistemas de dobles enlaces conjugados (enlaces alternados con sencillos) que se extienden por la molécula, y su presencia confiere a la molécula la capacidad de absorber



luz visible (es decir, fotones). A partir de siete o más enlaces, la energía de la radiación visible (fotones) es suficiente para promover la transición de un electrón desde un orbital ocupado  $\pi$  (enlazante) a un orbital ocupada  $\pi^*$  (antienlazante). Según el tipo de fotón (entre rojo o azul) que cada molécula de pigmento absorbe. Estas circunstancias contribuyen a que las clorofilas y los carotenoides sean eficaces para absorber la luz. (3).

## **2.8 TEJIDOS FOTOSINTETICOS.-**

La hoja presenta especializaciones morfológicas y estructurales relacionadas con su función más importante, la fotosíntesis. Entre estas cabe destacar la gran superficie externa, la abundancia de cloroplastos en tejido vascular y fundamentalmente la amplia red de espacios intracelulares. El tejido dérmico forma la epidermis que recubre las dos superficies foliares, la superior o axial y la inferior o apical, protegiendo los tejidos internos. El tejido parenquimático constituye el mesófilo que se extiende entre ambas superficies epidermis. Las células parenquimatosas, especialmente las empalizadas, contienen numerosos plastos, orgánulos subcelulares con clorofila y otros pigmentos. Se trata de orgánulos membranosos encerrados en una sustancia amorfa, el estroma, que contiene gotitas lipídicas y vesículas aplanadas, las lámelas. Las lámelas poseen estructura granular y son las partes de los cloroplastos donde se sitúan los pigmentos. (23).

Los cloroplastos, para vegetales superiores, representan el sistema de organización de capacidad fotoergónica. Esta estructura contiene los pigmentos necesarios para transformar la energía de la luz en energía química en forma de ATP, transformación que va acompañada de la formación de poder reductor bajo la forma NADH<sub>2</sub>. Posee, además, las enzimas necesarias para utilizar ATP y poder reductor en la reducción del dióxido de carbono atmosférico y la formación de azúcares. (11).

Los carotenoides y clorofilas están en los tejidos fotosintéticos. Los pigmentos fotosintéticos están contenidos en estructuras especiales, los plástidos que están en los cloroplastos y que están presentes en hojas y frutos verdes. Los cloroplastos indudablemente experimentan una pérdida en el grado de organización y su conformación convirtiéndose así en cromoplasto. En cualquier evento, se puede visualizar los carotenoides en unidades fotosintéticas altamente organizadas dentro de lugares con cierta rigidez y restricción que son relajadas al convertirse en no funcionales. (28).

## **2.9 FOTOSÍNTESIS.-**

La energía llega a la superficie terrestre, en forma de radiación solar, es "absorbida" por las plantas y por medio del proceso de la fotosíntesis se convierte en energía química. Una vez que se transforma en energía química está disponible para el mantenimiento de plantas y animales. La energía radiante es absorbida, reflejada o transmitida por la superficie de las hojas. La energía

absorbida se transforma en calor y puede ser radiada nuevamente; es utilizada en la fotosíntesis o en la evaporación del agua.

El espectro de absorción de una sustancia determina su capacidad para absorber energía radiante de diferentes longitudes de onda. Los dos tipos de clorofilas tienen espectros de absorción ligeramente diferentes, en lo que respecta a longitudes de onda tienen un espectro de absorción en el rango azul-violeta y un segundo pico en la región del rojo del espectro. Debido a esto es que la hoja se ve de color verde porque como las longitudes de onda roja y azul son absorbidas por la clorofila, el verde del espectro no se utiliza, resultando inútil en la fotosíntesis.

En la mayor parte de las plantas se requiere la luz para la formación de clorofila. Si crecen en la oscuridad, las plantas desarrollan cloroplastos inmaduros denominados protoplastidos los cuales se desarrollan en cloroplastos maduros, después de la exposición a la luz. Los carotenoides no se encuentran tan relacionados con la fotosíntesis como la clorofila, pero se tiene la idea de que afectan el proceso. Aunque el mecanismo no es bien conocido, los carotenoides aparentemente pueden evitar la foto-oxidación de la clorofila cuando es expuesta a la luz. En segundo lugar, por ser pigmentos absorben luz y pueden transmitir esa energía absorbida a la molécula de clorofila.

- Reacciones fotosintéticas.- La siguiente ecuación, que se desarrolla en forma muy simplificada, resume las complejas series de reacciones involucradas en la fotosíntesis;



Fig. 15 Reacción de Fotosíntesis. (41).

El alto significado que tiene este proceso radica en que la energía lumínica se utiliza para construir una molécula compleja de alta energía a partir de moléculas simples que contienen una cantidad baja de energía biológica útil.

La fotosíntesis se encuentra formada por grupos de definidas y diferentes reacciones. Por una parte, las reacciones fotoquímicas iniciadas por la luz y que, en lo esencial, no son afectadas por las temperaturas, ni las concentraciones de oxígeno o dióxido de carbono. En segundo lugar la reacción oscura, que es muy diferente, porque los factores anteriores si la afectan y además puede llevarse a cabo sin luz (16).

## 2.10 SISTEMA FITOCROMO.-

El pigmento más fotoreceptivo involucrado en la fotomorfogénesis es el fitocromo. Esta cromoproteína está presente en proporciones importantes en las plantas y fue aislada en 1959, aunque su existencia ya había sido sugerida.

El sistema fitocromo tiene dos formas, que a su vez tienen diferentes máximos de absorción y son fotoreversibles. La forma rojo absorbente (Pr) tiene su máximo de absorción a los 660 nm y es fácilmente convertible a la forma absorbente de la región extrema de la banda del rojo (Pfr). La Pfr tiene un pico de absorción a 730 nm y se transforma a Pr por la absorción de energía radiante del extremo de la región del rojo: la forma fisiológica activa es la Pfr, mientras que la forma Pr no lo es.

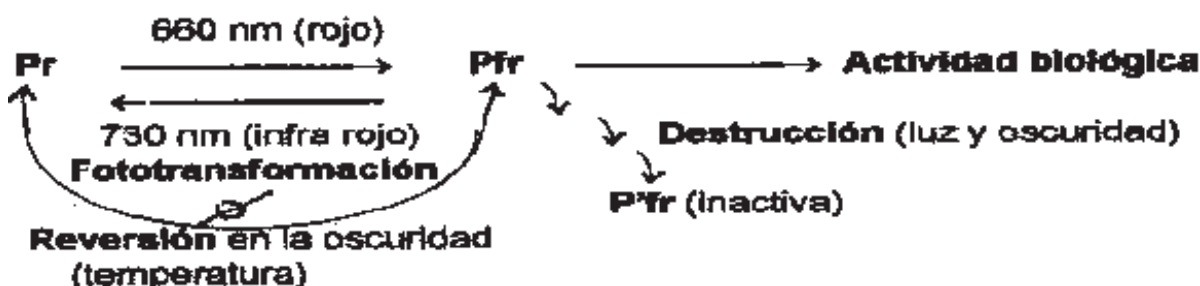


Fig. 16 Sistema Fitocromo. (42).

La luz diurna (luz del sol) tiende a convertir el fitocromo de su forma Pr a la Pfr, en una proporción 50:50.

Hay evidencia de que el fitocromo se presenta ampliamente repartido en plantas. Se ha identificado en tallos, raíces, hojas, flores, frutos y semillas. Una cuestión aun sin determinar es su mecanismo de acción. Aunque no hay pruebas claras, ciertas teorías relacionan los probables efectos de los fitocromos sobre los sistemas enzimáticos. (16).

No es el único pero si el sistema pigmentario morfogénico especialmente es el sistema fitocromo. La germinación de las semillas se activa con la luz. Cuando se estableció esto, se descubrió que la luz roja clara RC activa la germinación y que por lo contrario la luz roja oscura RO la inhibe.

La consecuencia final de estos datos fue que en las células de las plantas existe un sistema pigmentario morfogénico que puede presentarse en dos formas distintas que pueden convertirse la una de la otra mediante luz de una determinada longitud de onda, el Pr 660 y el Pfr 730. Por radiación con RO de longitud de onda 730 nm, el Pfr se convierte otra vez a Pr: debido a la oscilación de las dos formas, se habla de un sistema pigmentario reversible rojo-claro—rojo oscuro o llamada sistema fitocromo.

En el paso de Pr a Pfr es cedido un protón por el componente pigmentario, mientras que en la conversión contraria se toma un protón. El sistema fitocromo es muy extendido en las plantas aunque en pequeñas proporciones. (13).

**2.11 COLOR EN FRUTOS.-**

- **CITRICOS.-**

Que son verdes, como las hojas es porque su corteza contiene un largo numero de clorofilas y con las temperaturas las clorofilas empiezan a disminuir cuantitativamente y las frutas empiezan a madurar así los carotenos se hacen evidentes a temperatura baja.

El tratamiento con gas etileno, en el cuarto de desverdizado acelera grandemente la disminución de clorofila, en un proceso ya iniciado naturalmente y hace posible el desarrollo de color deseado por el consumidor. Además, el color de los cítricos esta relacionado en un alto grado con la luz y su brillo es obtenido solo por exposición completa. (10).

- **MANZANAS.-**

Cuando la gran variedad de manzanas madura su color de la superficie cambia de verde a una sombra encendida y eventualmente amarillenta en color. Los factores que influyen en las antocianinas (color rojo) de desarrollo en manzanas son: temperatura, nutrición, luz solar, humedad y la variedad de un fruto para convertirse en rojo. (10).

- **PLATANOS.-**

La cáscara o pies del plátano contienen clorofila, caroteno y xantofilas. Una de las principales señales de maduración visible por primera vez cuando la respiración climatérica alcanza su máximo, es un cambio de color de la piel, desapareciendo la clorofila para revelar la pigmentación amarilla causada por carotenos y xantofilas residuales. Puesto que la cáscara durante la maduración cede agua a la pulpa, se sugiere disminución ligera de carotenos y xantofilas inicialmente presentes en la cáscara. El plátano que madura produce etileno durante el climaterio, acelerando la maduración de la fruta.

**2.12 SUSTANCIAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL.-**

Generalmente, se sabe que las hormonas desempeñan importantes papeles en el metabolismo y el crecimiento de los seres humanos y otros animales. Las sustancias de crecimiento vegetal incluyen a las hormonas vegetales naturales del crecimiento y a diversos compuestos sintéticos no producidos por plantas. Las auxinas, el primer tipo de hormonas de crecimiento, fueron establecidas definitivamente como hormonas en 1928 por F. W. Went.

Las hormonas se consideran generalmente como sustancias producidas en pequeñas cantidad es en una parte del organismo y transportadas a otras partes del mismo en donde ejercen marcados efectos en el metabolismo y su

crecimiento. A diferencia de las hormonas animales, las vegetales no se producen en glándulas cerradas especiales (glándulas endocrinas), tanto las hormonas vegetales como las animales actúan a concentraciones muy bajas. Cualquier sustancia efectiva a una concentración tan baja es probable que este actuando de manera catalítica, y es también probable que las hormonas, como las vitaminas, funcionen principalmente como enzimas o como componentes de enzimas.

Entre las hormonas del crecimiento vegetal establecidas están las tiaminas (vitamina B) y la piridoxina (vitamina B6), ambas producidas por las hojas y esenciales para el crecimiento de la raíz. (15).

La planta crece, pues hay cierta transmisión de impulsos por cambios en el potencial eléctrico; pero sin duda no puede hablarse de un sistema nervioso vegetal. En cambio, los vegetales poseen un equipo de hormonas que actúan correlacionadas, y aunque algunos autores lo nieguen si puede hablarse de un sistema hormonal vegetal.

Existe confusión en la terminología hormonal, y para evitar confusiones, conviene fijar los términos.

- Fitoregulador.- compuesto capaz de intervenir en el metabolismo que actúa en muy pequeñas concentraciones para activar o deprimir algún proceso del desarrollo.
- Hormona.- es un fitoregulador natural que tiene acción en un lugar de la planta distinto de donde se produce.
- Cofactor.- fitoregulador natural con acción catalítica y regulatoria en el metabolismo, pero cuya acción no es suficiente por si misma para determinar fenómenos de desarrollo, sino que actúa de manera de coenzima.
- Inhibidor.- fitoregulador capaz de deprimir algún aspecto del desarrollo, sea actuando de manera independiente o bien contrarrestando la acción de una hormona.

### **2.13 FITOHORMONAS.-**

Las fitohormonas, son actualmente conocidas, cada una de las que se exhiben en las plantas con propiedades desde regulación del crecimiento. Mientras que cada una ha sido implicada en una disposición relativamente diversa de papeles fisiológicos en las plantas y partes detectables de ellas, el mecanismo preciso en el cual participan a veces no es muy conocido.

Las hormonas son factores estimulantes del desarrollo, pero este es uno de sus efectos y no su acción fundamental. Las hormonas son mensajeros cuyo papel sería de un intermediario entre el estímulo (luz, temperatura) y la respuesta (germinación, floración) de la planta. (15).

**2.13.1 CLASIFICACIÓN.-**

Las hormonas se clasifican en cuatro grupos, bien establecidos, las auxinas, giberelinas, citocinas y etileno.

- Auxinas.-

La auxina típica en los vegetales es el ácido indolacético (IAA) que la planta sintetiza a partir del aminoácido triptófano. Otras son el ácido indolpirívico y el indolacetonitrilo. Aunque existen otras sintéticas.

La auxina es sintetizada por la planta, en las células del meristemo apical de tallo, tallo, ramas y en yemas o foliares cuando esta en desarrollo. De estas regiones se transportan a través de las células y el floema, el movimiento por el floema se hace con los productos de la fotosíntesis.

La auxina actúa primariamente sobre los ácidos nucleicos. Algunos autores presentan la siguiente explicación: al despojarse de la cadena de DNA de su envoltura de cromatina, formada principalmente de proteínas del tipo histona, el descubrimiento no es total, sino que quedan fragmentos del DNA envueltos por un complejo DNA-histona. Es obvio que los genes presentes en estas partes cubiertas no pueden transcribirse al RNA por lo que quedan reprimidos. La acción de la auxina sería disociar el complejo con la histona, desreprimiendo dichos genes.

La auxina, a altas concentraciones deprime el alargamiento y a bajas concentraciones producen una aceleración de la respiración que percute en un intenso metabolismo. Puede decirse que estos tres fenómenos: aumento en el alargamiento celular, incremento de la respiración y del metabolismo energético son base de muchos efectos auxínicos, que son los más notables a primera vista y los más importantes en la agricultura.

- Giberelinas.-

Son fitohormonas que fueron al principio aisladas de un hongo, pero hoy se sabe que forman parte del equipo regulador de desarrollo de la planta. Las giberelinas son compuestos isoprenoides que se sabe proceden del ácido mevalónico, son estables y de rápida distribución por el floema, son sintetizadas en el ápice del tallo, hojas y la raíz. La acción fundamental es sobre el RNA desinhibiendo genes. Las giberelinas al desinhibir estos y otros genes, inducirá sus efectos típicos sobre el metabolismo y el desarrollo. Los efectos de las giberelinas son de diversa índole: uno es inducir la producción de la amilasa; que pone la energía a la disposición de la célula; otro es la acción sobre el enanismo, su interacción con el sistema fitocromo, pues el tratamiento provoca germinación de semillas. No hay duda de que existe estrecha relación entre las giberelinas y el sistema fitocromo, se sabe que muchas variaciones enanas solo manifiestan su



enanismo cuando se desarrollan la luz o en condiciones naturales. Se sabe también que la aplicación de estas inhibe muchas respuestas de la planta en desarrollo a la luz roja, sin embargo, otros no lo son. La interacción luz-giberelinas depende de la especie y tipo de respuesta bajo fotocontrol.

- Citocinas.-

Son hormonas cuya acción típica es activar la división celular y retardar la senescencia de los órganos. Se trata de derivados de la adenina, algunos de los cuales se han encontrado de forma naturales las plantas y otras moléculas. Se supone que se adhieren al RNA de transferencia y cuando esto sucede provoca el funcionamiento de ciertos codones, controlando así la síntesis de algunas proteínas y enzimas. Los efectos de la citocina son variados, uno es producir una mayor actividad en el ritmo de la mitosis celular y promover un poco el alargamiento, otro es retardar el envejecimiento o senescencia de los órganos y los fenómenos a que este da lugar, como el amarillamiento y caída de las hojas, sea por una acción sobre el DNA o porqué por la presencia de citosina hace afluir, por un mecanismo no conocido auxina y otros nutrientes a las hojas.

- Etileno.-

El etileno lo sintetizan las plantas a partir del aminoácido metionina. No hay duda de qué el etileno se produce de manera natural por las plantas y que tiene efectos hormonales en el curso normal de desarrollo. La acción fundamental parece ser sobre las membranas celulares (plasmalema y membranas intracelulares, adhiriéndose a un receptor desconocido). El etileno actúa así de manera directa como un disparador o fulminante de procesos hormonales. (26).

## **2.14 ETILENO.-**

El etileno como una hormona de la planta es única en su simplicidad estructura y naturaleza gaseosa. Esta cualidad la hace la hormona vegetal mas fácilmente detectable y medible. El botánico ruso Neljubow en 1901 fue el primero en descubrir las propiedades de regulación de crecimiento del etileno. Por el año de 1930 el etileno era conocido por tener una amplia variedad de interesantes efectos sobre las plantas pero fue hasta 1934 cuando Gane, probó que el etileno era un producto natural de las plantas. Y para 1960 el etileno había sido claramente identificado como un regulador endógeno de la maduración de los frutos. (31).

El efecto de etileno en las plantas y partes de ellas, es conocido por su variedad. Se ha implicado en maduración, absición, senescencia, floración y otras respuestas.

El etileno parece ser producido esencialmente por todas las partes de las plantas vivientes y el rango en cualquier variedad de especies, órganos o tejidos y su etapa de desarrollo y crecimiento.



Las alteraciones en la ruta de síntesis de etileno se han encontrado y algunos casos, parece ser cercanamente relacionada con el desarrollo de ciertas respuestas fisiológicas en la planta.

El etileno no tiene un aroma fuerte y no contiene el aroma típico de los frutos y es el gas mayormente formado. (19).

Siendo el etileno es sintetizado del sulfuro contenido en el aminoácido metionina, que es primero convertido a 5- adenosil metionina o (SAM) y después al 1 animo-ciclopropano, 1- ácido carboxílico (ACC). Durante la conversión a ACC. La porción contenida de sulfuro de la molécula, 5- metiladenosina, es reciclada a metionina vía formación de ribosa y condensación a homoserina.

El paso final en la ruta de síntesis es la conversión de ACC a etileno y es la menos comprendida hoy. La reacción requiere la presencia de oxígeno y parece representar el punto en el que la ruta de síntesis de etileno es inhibida por las bajas condiciones de oxígeno. La velocidad de síntesis de etileno es conocida por ser afectada por un amplio rango de factores ambientales, como la concentración de oxígeno, y temperatura siendo dos de los más importantes cuando son muy bajos, la síntesis se reduce.

Mientras que el etileno parece ser sintetizado en todas las células, el sitio preciso de la síntesis interior no se conoce.

El rango de producción de etileno en plantas varía en tipo de tejido y desarrollo. Ahora está establecido que la metionina en efecto sirve como precursor de etileno en todos los tejidos de las plantas superiores y los mecanismos de síntesis de etileno han sido descubiertos. (31).

En algunos frutos no climatéricos, como los cítricos, su aplicación exógena, tanto antes como después de la recolección, promueve la degradación de clorofilas y promueve el cambio de color (desverdización); otros, como la fresas, son insensibles al etileno exógeno o a sus antagonistas, pero maduran tras la aplicación de auxinas, sustancias que promueven la síntesis de etileno.

Por lo tanto los frutos climatéricos y no climatéricos, responden a la aplicación exógena o endógena de etileno. Se puede afirmar, por lo tanto, que este gas es la hormona de maduración. Pero un aspecto relevante diferencia a varios tipos de frutos en relación al metabolismo de etileno. En 1985, Liu y colaboradores, demostraron que la aplicación de etileno a frutos verdes de tomate inducía la síntesis de ACC- oxidasa, es decir, la síntesis de etileno puede ser promovida por el propio etileno. Este proceso autocatalítico es privativo de los frutos climatéricos y el responsable en manera espectacular en la producción de etileno que tiene lugar en estos frutos durante su maduración. La maduración de los frutos se han asociado a la acumulación de proteínas específicas.

En los frutos climatéricos, muchos de los genes estimulados por el etileno muestran su expresión cuando tiene lugar el proceso autocatalítico de la producción de este gas y el incremento de la respiración. Por tanto, esta última coincide generalmente con la síntesis de proteínas. A vista de ello, parece lógico que la energía suministrada por la respiración sea también utilizada para la

síntesis de proteínas que catalizan las reacciones de maduración. Por otra parte, los frutos no climatéricos, en los que el etileno no induce proteínas específicas de la maduración, también muestran un incremento en la tasa respiratoria como respuesta a la aplicación exógena de etileno. Los frutos que han completado su desarrollo maduran más lentamente si permanecen en el árbol. (3).

El etileno es un factor esencial en el desarrollo de los frutos climatéricos, ya que el control de la acción de etileno permitirá la respuesta de maduración y por consiguiente, la vida poscosecha de este tipo de frutos. (38).

El etileno en general, estimula los cambios en el color de la cáscara, produce ablandamientos y en algunos casos mejoras en el sabor.

Cuando se conocieron los efectos que el etileno tiene sobre la maduración, se comenzó a utilizarlo en tratamientos artificiales para anticipar la recolección de frutas. Se cosecha con un mínimo grado de madurez y mediante la aplicación de este gas, se trata de provocar los mismos cambios que se producirían naturalmente si permanecieron los frutos en la planta. (36).

El papel de las auxinas es más complejo y se entiende con dificultad. En fresas, la eliminación de equinos (fuentes de auxinas) reduce el crecimiento de la infrutescencia pero anticipa su maduración; por el contrario, en el peral, la aplicación de AIA inhibe la maduración.

Las giberelinas y citocinas apenas participan de la maduración de los frutos, salvo retrasando su reblandecimiento y la degradación de clorofila.

Las hormonas sintetizadas en las semillas o en las paredes de los ovarios regulan el reparto de fotoasimilados y por lo tanto, el desarrollo de los frutos. Algunos frutos durante su desarrollo acumulan almidón y en la maduración, lo hidrolizan y presentan un aumento de la respiración. Otros frutos acumulan directamente monosacáridos, y no se detectan en ellos incremento en la respiración. Los primeros frutos son climatéricos y los segundos no climatéricos. En ambos, el etileno es la hormona que controla el proceso, aunque con características específicas para cada uno de ellos. (3).

## CAPITULO III

## 3.1 EVALUACIÓN DE COLOR EN FRUTOS.-

La percepción de color del por el consumidor en productos comestibles, es decisiva cuando compran un producto. El color, puede informarnos acerca de muchas propiedades, como el grado de madurez en frutos, alteraciones de los productos. Otros atributos sensoriales, tales como textura y sabor, puede jugar un rol menos importante en la decisión del cliente.

La energía radiante que es percibida por el ojo humano por resultado de la estimulación de la retina le da el alcance al color en la visión. Esta parte corresponde a la longitud de onda de 380 -700 nm, conocida como región visible. El color percibido depende de la composición espectral de la fuente de luz, las características químicas y ópticas del producto y la sensibilidad del ojo. La percepción humana del color esta hecha de tres atributos: color o matiz (rojo, verde, azul, etc.), saturación o intensidad del color (pastel, profundo o claro) y la luminosidad o claridad. Para caracterizar el color de los alimentos, los atributos cromáticos y no cromáticos deben ser cuantificados. Esto puede ser complicado al analizar la distribución del espectro visible en términos de coordenadas de color, tomando en cuenta un iluminante y observador estándar. El espectro visible puede ser obtenido, dependiendo de las propiedades ópticas del producto, analizando la luz difusa reflejada de muestras opacas, la luz difusa transmitida o difusa reflejada de muestras translucidas, o la luz regular transmitida de muestras transparentes.

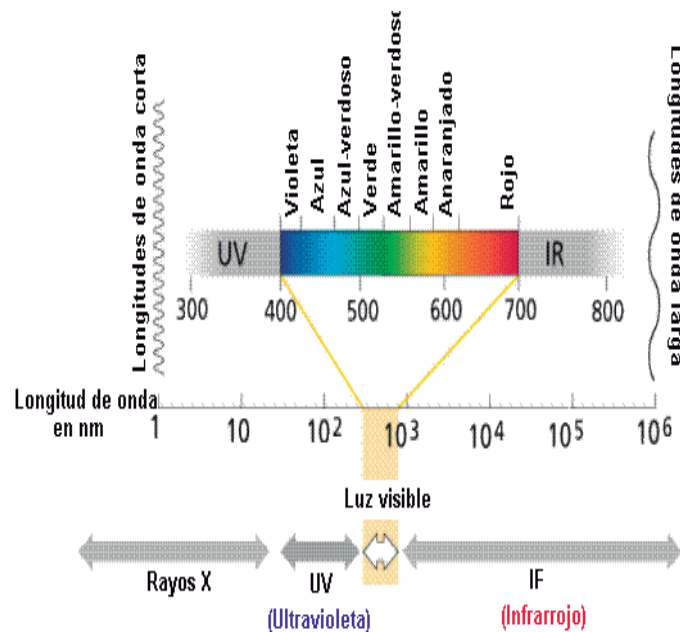


Fig. 17 Espectro visible. (45).

Colorímetros triestímulo o espectrofotómetros han sido ampliamente usados para obtener (por mediciones o cálculos directos) coordenadas de color, como X Y Z o CIE L\* a\* b\*, de la luz reflejada por la superficie de la mercancía, precisamente donde más de los cambios pueden tomar lugar. Estas coordenadas pueden ser interpretadas, en términos de claridad, matiz y valores de saturación los cuales se relacionarán con la percepción de color del cliente y darán un criterio objetivo para establecer tolerancias de color para control de producción y almacén de alimentos.

Las operaciones tales como lavado, pelado, cepillado, y reducción de tamaño permiten que enzimas (clorofilasas, peroxidasas, polifenoloxidasas) y substratos entren en contacto, principalmente en la superficie de los productos, trayendo reacciones enzimáticas relacionadas al deterioro de color.

Frutas y vegetales, contienen sustancias naturales en las células y tejidos que son responsables de sus características de color. Ha sido reportada correlación lineal entre la concentración de varias características de pigmentos de alimentos y combinaciones matemáticas de coordenadas de color de alimentos. Los compuestos pueden cambiar a partir de diferentes reacciones químicas y bioquímicas que ocurren durante el procesado y almacenado de productos. (1).

### **3.2 LAS PROPIEDADES SENSORIALES.-**

Las propiedades sensoriales son los atributos de los alimentos que se detectan por los sentidos. Hay algunas propiedades que se perciben por medio de un solo sentido, mientras que otras son detectadas por dos o más sentidos.

- El color.-

Esta propiedad es la percepción de la luz de una cierta longitud de onda reflejada por un objeto. Un ejemplo, un cuerpo rojo, refleja la longitud de onda correspondiente al rojo y absorbe la luz de todas las demás longitudes de onda del espectro visible, mientras que los cuerpos negros no reflejan luz alguna.

El color de un objeto tiene tres características:

- 1.- El tono, el cual está determinado por el valor exacto de la longitud de onda de la luz reflejada. Unos cuantos nanómetros de diferencia significan, mezcla con otro color y por lo tanto un tono diferente.
- 2.- La intensidad, la cual depende de la concentración de las sustancias colorantes dentro de un objeto o alimento.
- 3.- El brillo, que es dependiente de la cantidad de luz reflejada por el cuerpo, en comparación con la luz que incide sobre él.

Hay infinidad de tonos en la naturaleza, y otros que han sido desarrollados por los fabricantes de colorantes. Existen tres colores simples o básicos- llamados primarios- y de éstos se derivan, por combinación, todos los demás tintes o tonos. Dichos colores son el rojo, amarillo y el azul. La relación entre los diversos colores que pueden expresarse en el hexágono cromático.

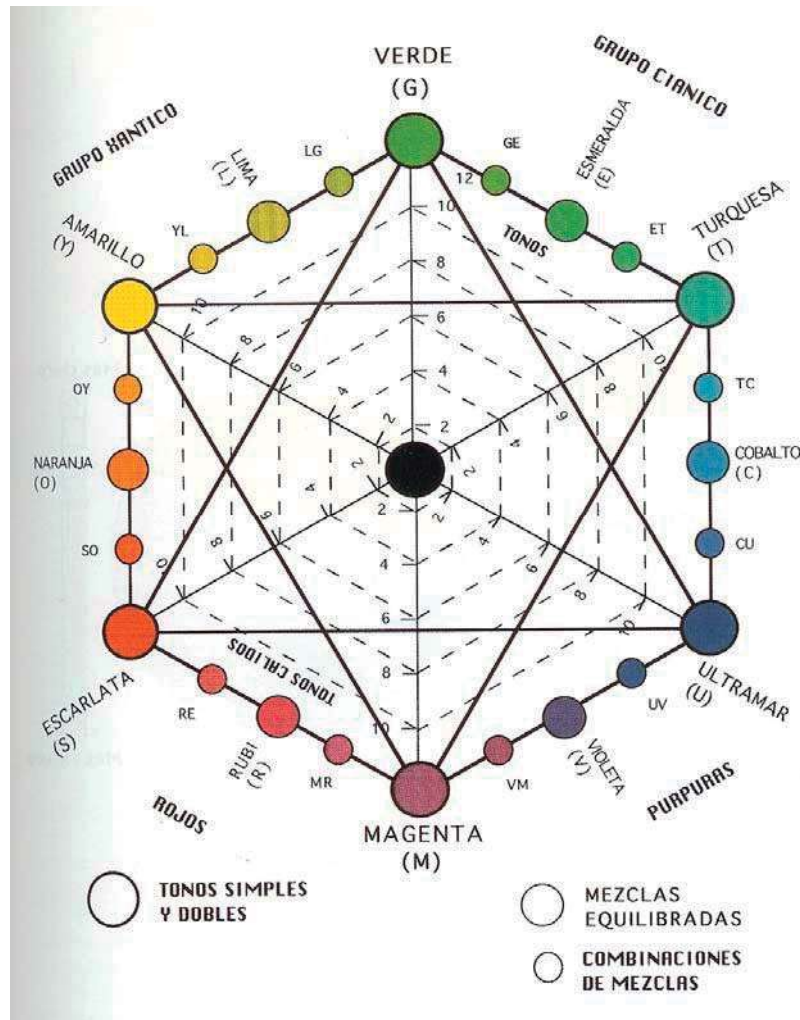


Fig. 18 El hexágono cromático. (45).

Además de los colores simples tenemos los colores dobles, los cuales están formados por mezclas de dos radiaciones simples. Estos colores son tres tonos dobles principales, que están compuestos por mezclas equilibradas de dos radiaciones simples y, por ello, el hexágono se coloca en espacios intermedios entre los simples.

Hay también seis tonos dobles transitivos, los cuales son transiciones intermedias entre cada dos de los ya descritos. Y después, pueden formarse más combinaciones entre los tonos mencionados.

En el hexágono se indican también las demás combinaciones posibles, así como el grado de luminosidad- conocido como el valor- que es la propiedad que se distingue a un color de otro mas claro o más oscuro.

El color es la única propiedad sensorial que puede ser medida en forma instrumental mas efectivamente que en lo visual. Se ha reportado dificultad para encontrar el punto de viraje en una titulación volumétrica, mientras que esta se lleva a cabo con el espectrofotómetro, el aparato no se equivoca al evaluar el cambio de color. Sin embargo, el uso de equipos instrumentales requiere de equipos costosos, preparación laboriosa de muestras, etc.

Existen colorímetros especialmente diseñados para alimentos –incluso para frutas enteras, granos o alimentos en polvo- pero resultan muy costosos y requieren manejo muy cuidadoso y de mantenimiento muy especializado. Por ello, muchas veces es necesario llevar a cabo la medición del color en forma visual, es decir, un análisis sensorial de esta propiedad. (2).

### **3.3 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL COLOR.-**

La medición del color puede efectuarse usando escalas de color. Estas pueden consistir en ejemplos típicos de alimentos, mostrando toda la gama de colores que pueden presentarse en las muestras o usando para ello fotografías o modelos hechos de plástico o de yeso coloreado. O bien, puede tratarse de escalas construidas basándose en un atlas de colores de Villalobos. Domínguez y Villalobos, 1947, o con muestras de catálogos o folletos de colorantes de pinturas. Asimismo existen clasificaciones o taxonómicas de colores, como la de Ridgway para artistas y naturistas, o la “Chrimatoxia”, muy utilizada por los naturalistas. La escala se construye en base a dichas listas o catálogos de color. La escala debe abarcar todos los tonos e intensidades posibles en las muestras a evaluar, colocados en orden creciente de intensidad o valor, y se asignan valores numéricos a cada punto de la escala. La muestra se compara visualmente con dicha escala, y se asigna el número correspondiente según ella. Si esta es utilizada de la misma forma y condiciones los resultados pueden ser considerados válidos.

Existen sistemas tridimensionales de medición de color, en los que se concederá que todos los tonos pueden ser descritos en base a tres componentes: rojo (R), azul (B) y amarillo (Y), o, en algunos casos el rojo, verde y azul. Si cada uno de estos tres colores primarios se mide sobre los ejes de un sistema tridimensional de coordenadas, entonces cualquier tono podrá ser expresado gráficamente, y se le puede asignar un valor numérico. Las diversas luminosidades o intensidades de los colores puros quedarán, por lo tanto, sobre el eje correspondiente. Las mezclas de dos colores básicos en todas las intensidades, estarán situadas sobre los planos B-R, B-Y o R-Y; mientras que los demás tonos serán puntos en el espacio tridimensional abarcado por los tres ejes. Esto puede representarse en forma circular, o de otra manera, y a cada tono,



intensidad y luminosidad se le pueden asignar valores numéricos, para poder usar mas fácilmente este sistema.

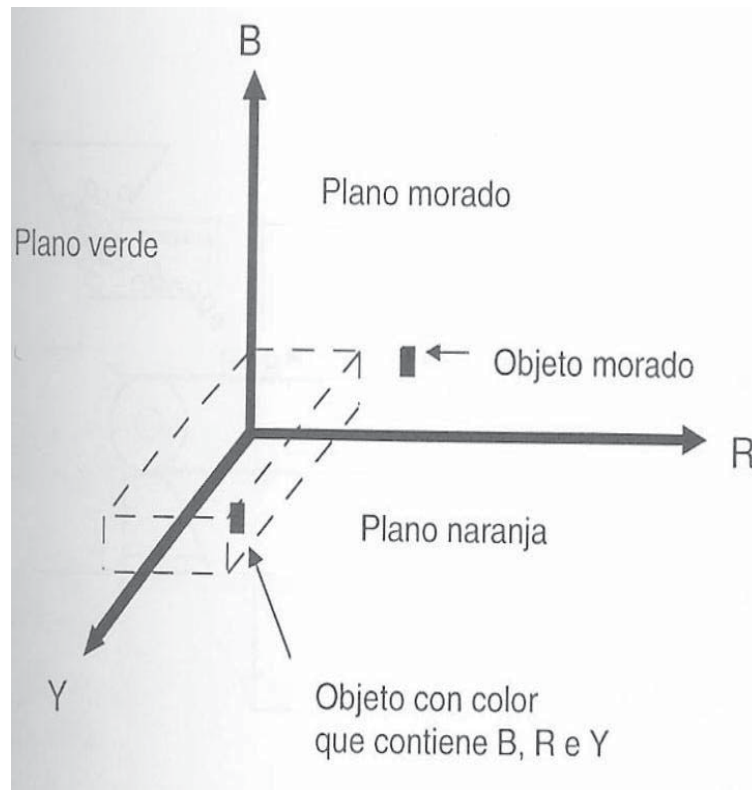


Fig. 19 Sistema tridimensional B-R-Y de medición de color. (7).

Para efectuar una medición visual de color es necesario que la iluminación del lugar de evaluación sea adecuada y, además, que la luz utilizada no proporcione color adicional alguno a los objetos. Las paredes del cuarto, así como de las mesas y otros muebles, deben ser de colores neutros, agradables, y no deben afectar el estado de ánimo de los evaluadores.

En las pruebas de evaluación del color para la selección de materia prima, ésta generalmente va siendo transportada en una banda, y hay personas paradas a ambos lados de esta haciendo la separación de la materia prima por color y otros atributos, y quitando aquélla cuyo color este fuera del rango aceptable para el proceso.

Existen varios aparatos diseñados para llevar a cabo esto de forma automática, como el seleccionador de alimentos por cuyo funcionamiento se ilustra en forma de diagrama.



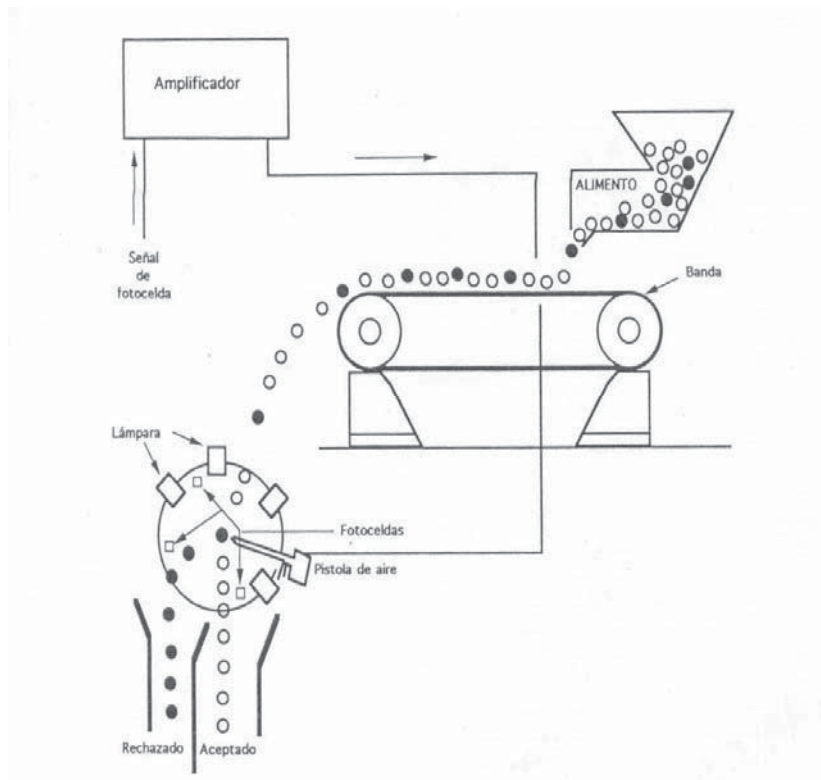


Fig. 20 Diagrama de un seleccionador de alimentos por color. (7).

En cambio cuando se trata de una clasificación de grados de calidad de acuerdo al color, el ser humano no puede ser sustituido por instrumentos. Esto se debe a que la clasificación es la separación en grados de calidad lo cual no implica solamente la apreciación de la longitud de onda de la luz reflejada por el alimento, - lo cual si puede ser hecho por el seleccionador automático- sino también factores subjetivos que solo un ser humano puede juzgar (2).

### 3.4 COLOR.-

El color de los alimentos no solo determina su calidad, también puede sugerir muchas cosas. El color constituye normalmente un índice de madurez y de alteraciones.

Si el alimento es un líquido transparente como el vino blanco, la cerveza o el mosto o si se puede obtener un extracto coloreado del mismo, para la determinación de su color pueden utilizarse diversos tipo de colorímetros o espectrofotómetros .

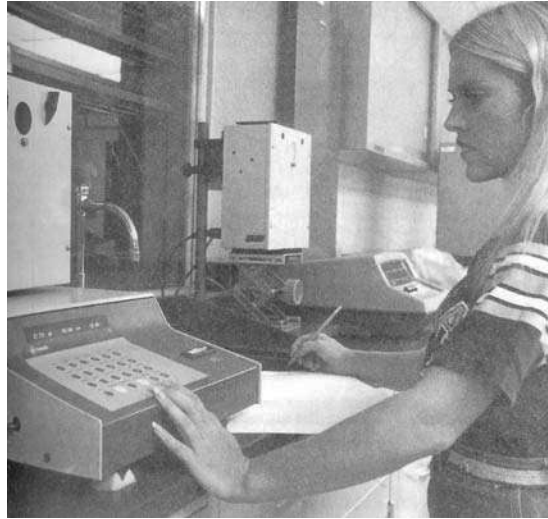


Fig. 21 Equipo Hunterlab de medida de color y diferenciación de color. (7).

En estos instrumentos, se coloca una cubeta de vidrio con el líquido de la muestra en una ranura, por la que pasa una luz de longitud de onda determinada. Esta luz se absorberá dependiendo del color del líquido y de su intensidad. Dos líquidos del mismo color e intensidad transmitirán una misma fracción de la luz dirigida sobre ellos. Si uno de los líquidos es un extracto y el otro es el mismo extracto diluído con agua, el último transmitirá una mayor fracción de luz incidente y esta originará una mayor respuesta del instrumento. Dicho instrumento puede medir también la claridad y turbidez de un líquido, dependiendo de la cantidad de luz que el líquido deje pasar. Existen también otros métodos de determinación de color de líquidos.

Tanto si es líquido como sólido, el color del alimento puede determinarse comparándolo con el de tiras o discos de un mosaico definido. La persona encargada de controlar la calidad cambiará las tiras o discos hasta que el color del alimento coincida con el de uno de ellos o se encuentre entre dos de ellos.

La medida del color puede cuantificarse. La luz reflejada por un objeto coloreado puede dividirse en tres componentes, que se han denominado valor, matiz pureza o intensidad del color. El término valor, se refiere a la luminosidad u oscuridad del color o al incremento del blanco sobre el negro el de matiz a la longitud de onda predominante reflejada, lo que determina que el color percibido sea rojo, verde, amarillo, etc.; mientras el término pureza se atribuye a la fuerza o intensidad del color.

Otra escala de coordenadas tridimensionales utiliza los atributos de: luminosidad-oscuridad, tono amarillento-azulado y tono rojizo-verdoso. Estas dimensiones del color, utilizadas en la colorimetría tres estímulos, puede cuantificarse en instrumentos como el colorímetro diferencial Hunterlab. Las muestras de alimentos, con los mismos valores en los tres atributos, poseen el mismo color. Estos valores numéricos, así como los que representan el valor,

matiz y pureza, varían con el color de una manera sistemática por lo que pueden representarse en un diagrama de cromaticidad.

El químico especialista en colores y el controlador de calidad, pueden relacionar dichos valores numéricos con el color y modificando dichos valores pueden determinar los cambios grandes o pequeños que ocurren durante la maduración, procesado o almacenamiento de los alimentos. (25).

### **3.5 PRINCIPIOS DE LAS MEDIDAS OPTICAS.-**

Los primeros que desarrollaron la espectroscopia de Fourier fueron los astrónomos a principios de los años cincuenta, para estudiar espectros infrarrojos de las estrellas.

La utilización de estos instrumentos representa ciertas ventajas, la primera es el rendimiento, que se obtiene porque estos instrumentos tienen pocos elementos ópticos y carecen de rendijas que atenúen la radiación.

La segunda ventaja es el elevadísimo poder de resolución y reproducibilidad en la longitud de onda que posibilita el análisis de espectros complejos en los que el número total de líneas y el solapamiento espectral dificultan la determinación de las características espectrales individuales. La tercera surge porque todas las radiaciones de la fuente llegan al detector a la vez.

Un espectroscopio es un instrumento óptico utilizado para la identificación visual de líneas de emisión atómicas. Consta de un monocromador, en el que la rendija de salida se reemplaza por un ocular que se puede mover a lo largo del plano focal. La longitud de onda de la línea de emisión se puede determinar a partir del ángulo formado entre el haz incidente y el haz dispersado, cuando la línea se centra en el ocular.

Se usa el término colorímetro para designar a un instrumento para medidas de absorción, en el que el ojo humano es el detector utilizado en uno a más patrones de comparación del color.

Un fotómetro consta de una fuente, un filtro y un detector fotoeléctrico, además de un procesador de señales y un sistema de lectura.

Existen en el comercio fotómetros de filtros para medidas de absorción en la región ultravioleta, visible e infrarroja, así como para las medidas de emisión y fluorescencia en las dos primeras regiones. Los fotómetros diseñados para medidas de fluorescencia se denominan fluorómetros.

Un espectrómetro es un instrumento que proporciona información sobre la intensidad de la radiación en función de la longitud de onda o de la frecuencia. Los elementos dispersantes en algunos espectrómetros son multidimensionales, es decir, se pueden observar simultáneamente dos o más frecuencias.

Un espectrofotómetro es un espectro equipado con una o más rendijas de salida y detectores fotoeléctricos que permiten la determinación de la relación entre la potencia de dos haz de luz en función de la longitud de onda como el la espectroscopia de absorción.

Todos los instrumentos mencionados en este apartado utilizan filtros o monocromadores para aislar una región del espectro para la medición.

Los fotómetros constituyen una herramienta sencilla y relativamente barata para realizar análisis por absorción. Los fotómetros de filtro son, a menudo, más convenientes, robustos y fáciles de mantener y utilizar que los espectrofotómetros más sofisticados. Además, es característico de los fotómetros su elevado rendimiento energético, y por ello, la buena relación señal/ruido, incluso con detectores y circuitos relativamente sencillos y baratos. Cuando un método no requiere una alta pureza espectral (como sucede con frecuencia) los análisis cuantitativos se pueden realizar con la misma exactitud con un fotómetro que con un instrumento más complejo. (29).

Técnicas de comparación de color son aunque comúnmente usadas para evaluar la madurez de la fruta. Las muestras de olor pueden ser usadas para determinar color interno o externo.

Los métodos de evaluación de calidad pueden ser destructivos o no destructivos. En ellos incluyen escalas subjetivas basadas en lecturas de instrumentos y métodos subjetivos basados en el juicio humano, usando escalas hedonistas.

Calidad de apariencia usual:

Color.-

- 1.- Uniformidad e integridad: como diámetro o radio, usando un índice de forma de frutos.
- 2.- Combinación visual: cuadros de color, guías, diccionarios de combinación y descripción de colores de frutas y vegetales.
- 3.- Contador de reflectancia de color: medición de color en base a la luz reflejada de la superficie de la mercancía.
- 4.- Contador de transmisión de luz: medición de la luz transmitida a través de la mercancía, puede ser usada para detectar el color interno y desordenes.
- 5.- Medición de retraso de emisión de luz: relacionada a la cantidad de clorofila en el tejido de las plantas, puede ser usado para determinar bases de color de etapas de maduración.
- 6.- determinación del contenido de pigmentos: evalúa el color de horticultivos por contenido de pigmentación: clorofila, caroteno y flavonoides. (18).

En cada región productora deben hacerse escalas colorimétricas para cada una de las variedades frutales cultivadas, ya que la presencia, distribución e

intensidad del color es un carácter muy influenciado por el medio ecológico, no pudiendo servir estas escalas para zonas diferentes.

Cada tipo de fruta puede ser analizada desde el punto de vista del color, para determinar el punto de sazón o de corte, de acuerdo a características muy específicas de ellas, notablemente diferentes y cambiante, siendo necesario que para cada especie, para cada variedad y para cada lugar, se establezcan normas propias y especies.

Ejemplos de apreciación de momento de cosecha en algunos frutos son los siguientes:

En aguacate de la variedad Hass, el indicador de color se da cuando en el epicarpio o superficie externa de la fruta el color verde empieza a oscurecerse, tornándose opaco o mate.

En la fresa la cosecha debe realizarse cuando las tres cuartas partes de la superficie tienen ya un color rosado o ligeramente rojizo.

En el plátano el corte se efectúa, respecto a color, cuando todo el racimo ha cambiado su color verde opaco a verde esmeralda brillante. No debe admitirse ninguna tonalidad amarilla que indica ya adelanto de maduración.

En el limón mexicano la cosecha se lleva a cabo cuando todavía el color es un verde intenso, desechándose cualquiera que tenga tintes mas claros, pajizos o amarillos, que es precisamente el estado fisiológico correcto de corte.

En la naranja el color debe ser el típico anaranjado correspondiente a la variedad, aun cuando en ocasiones se puede cosechar antes, con ciertos grados de color verde que posteriormente se eliminan con tratamientos especiales de poscosecha. (9).

### **3.6 EVALUACIÓN VISUAL.-**

La evaluación visual de las características de color por un juez experto, a pesar de sus limitaciones, es todavía ampliamente usada y una técnica aceptada.

Cuando nos enfrentamos con la necesidad de usar una técnica de evaluación visual u otro sentido (como el olor) para evaluar sin el consumo, estos puntos sirven de guía son recomendados:

- 1.- Usar una escala anteriormente publicada, así los resultados pueden ser relacionados a estudios previos.
- 2.- Evaluar solo las características que estén relacionadas a los atributos de calidad de compra, para intención de uso del producto.
- 3.- seleccionar un juez experto o alguien que tenga conocimiento detallado del estudio designado y no apremie los resultados.
- 4.- Usa el mismo juez para cada estudio, o un ambiente con control de calidad, para que minimice el número de jueces.
- 5.- Discusiones periódicas deben ser sostenidas para refrescar a los jueces, en términos claves definidos.

6.- La escala debe ser evaluada por su habilidad de predecir agradabilidad por un panel de degustadores no entrenados, para los atributos específicos y total aceptabilidad.

La medición de color es un importante significado de evaluación de calidad de productos alimenticios. Aunque el color de frutos y vegetales es una manifestación externa de composición y forma de los pigmentos de la planta, un simple análisis de composición de pigmentos extraídos no necesariamente predice un impacto visual. Las frutas maduras y vegetales amarillentos frecuentemente involucran el desarrollo de amarillo naranja xantofilas y carotenoides por la desaparición de clorofila. (27).

### **3.7 SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE COLOR.-**

La medición de cambio de pigmentos es importante para entender la fisiología de madurez y senescencia. En cambios de medición de impactos visuales, sin embargo, es más importante detectar cambios físicos en apariencia. Aunque la apariencia es una función que más que solo el color, y hay instrumentos disponibles para detectar otros factores, esta discusión se centrará en el color.

Muchas escalas de color han sido desarrolladas pero la escala predominante usada para frutas y vegetales es la de Hunter "Lab" o su variante el sistema CIE  $L^* a^* b^*$ , es la escala de opción. Por la búsqueda de simplicidad, la discusión se referirá a Lab.

En la selección de equipos de medición de color, se debe prestar atención especialmente a las aplicaciones específicas deseadas y la variedad de mercancías o productos a ser probados. En la etapa experimental, la simple orientación o apertura de la luz son críticas.

El error más frecuente en la medición de color es el uso de resultados Lab usados directamente sin conversión a matiz, valor y cromaticidad. La razón principal por la que los científicos usan colorímetros de alimentos es que las lecturas están relacionadas a la percepción humana del color, esta percepción influye en la aceptación del consumidor en el producto. Los humanos y el colorímetro ven el color "diferente". Los humanos ven el color de un producto en términos de luminosidad, matiz (color nombrado como rojo, azul, o verde) y cromaticidad (brillo y saturación) por la integración de señales muy complejas dentro de estos tres componentes. Los colorímetros no tienen la capacidad de integrar directamente y así deben romper la señal en un simple constructor.

Los instrumentos ven en términos luminosidad (L), el carácter rojo-verde en la ausencia de amarillo o componentes azules (a), y carácter amarillo azul en ausencia de componentes rojo o verde (b). Las mediciones en L, a, y b son lenguaje de la maquina, mientras que, matiz, cromaticidad y luminosidad son términos relacionados a la percepción humana. Afortunadamente, nosotros



podemos convertir el lenguaje de la maquina, en algunos cálculos matemáticos mas simples, de números mas relacionados con los humanos.

Tan pronto como los términos específicos de matiz (por ejemplo, rojo o amarillo) son usados, cosas diferentes son mencionadas en la maquina y términos humanos. Para la maquina, un incremento en el amarillamiento es señalado por un incremento de +b, mientras que en términos humanos un incremento en amarillamiento es señalado por lo cerca del matiz al ángulo (tan  $-1 b/a$ ) de  $90^\circ$ . Así, en términos humanos, el amarillamiento de la muestra puede aumentarse aun si la lectura de +b exhibe un gran decrecimiento. Del mismo modo, el amarillamiento de la muestra puede decrecer aun si las lecturas de +b incrementa si la lectura +a exhibe un gran incremento.

Otras técnicas no invasivas emplean irradiación con luz visible o ultravioleta, han sido usadas para desarrollar mediciones de calificación no destructivas. Las más notables de estas técnicas son las que relacionan reflectancia y radiación transmitida para concentraciones de sólidos solubles en muchas frutas. (27).

### **3.8 COLORIMETRIA TRIESTÍMULO. –**

La aplicación de la teoría tricromática al estudio de color de los alimentos proporciona una segura caracterización cromática mediante la metodología recomendada por organizaciones tales como Comisión Internacional de Iluminación (CIE).

Una adecuada integración de los espectros de absorción, de acuerdo con las condiciones de referencia seleccionadas (iluminante y observador) permite obtener los valores triestímulo con los cuales la CIE define los diferentes sistemas colorimétricos: los espacios de color y sus correspondientes diagramas cromáticos asociados, así como los parámetros psicofísicos (tono, luminosidad y saturación). (35).

### **3.9 EJEMPLOS DE EVALUACIÓN DE COLOR EN FRUTOS.-**

En los frutos de mango se les determinaron los parámetros de color ( $L^*$  a\* b\*). En lo que a frutos de mango “Manila” se utilizo un colorímetro Minolta modelo CM-2002, que opera con un programa SpectraQC versión 7.2. Para los frutos de guayaba se utilizo un colorímetro HunterLab (Colorímetro MiniScan XE, Mod. 4510 -L) Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston Va).

En el mango “Manila” se realizaron lecturas en tres puntos del fruto. Estos lugares fueron la parte peduncular, central y apical de una de las caras del fruto, estos lugares fueron la parte central de las caras opuestas del fruto. El color se reporto como valores de luminosidad ( $L^*$ ), Hue ( $h^*$ ) y croma ( $C^*$ ). Las fórmulas para los cálculos de  $h^*$  y  $C^*$  son (McGuire, 1992):

$$h^* = \arctan(b^*/a^*) \quad C^* = (a^2 + B^2)^{1/2}$$



El valor de hue o ángulo de matiz indica la tonalidad de matiz que tiene la muestra (rojo, azul, naranja, etc.) y esta representada por un ángulo. El valor de croma indica el grado de saturación del matiz o la intensidad de éste, mientras que la luminosidad está asociada con la brillantez, que depende del flujo luminoso que es transmitido o reflejado por la muestra. (32).

### 3.10 MEDIDA DEL COLOR.-

#### 3.10.1 TINTOMETRO DE LOVIBAND- SCHOFIELD.-

- 1.- Llenar el receptáculo de porcelana o cubeta de vidrio (si el producto es totalmente transparente) con la muestra y colocarla en el tintómetro.
- 2.- Reducir la iluminación del laboratorio sin dejarlo en total oscuridad.
- 3.- Manipulando los mandos portafiltros de dos de los tres vidrios coloreados (rojo, azul, amarillo) igualar el color de la muestra. Modificar el control de tono para que el ajuste sea perfecto. La elección de los dos colores generalmente se basa en el color de la muestra original.
- 4.- Comprobar la lectura del color del patrón para cerciorarse de que la vista no se halla fatigada.
- 5.- Anotar las lecturas del color rojo, amarillo o azul.

Notas:

- 1.- Los productos de tamaño o textura no uniforme o los que contiene otras sustancias alimenticias deben analizarse en el receptáculo de muestras rotatorio.

#### 3.10.2 MEDIDOR DE DIFERENCIAS DE COLOR GARDNER.-

- 1.- Preparar una solución de azúcar o de jarabe de azúcar al 50%.
- 2.- Ajustar el pH a 5.0 para invertir el jarabe de azúcar.
- 3.- Colocar la solución en cubeta de 10 cm. y comparar frente a agua destilada en un espectrofotómetro a 420 y 720 nm.

Notas:

- 1.- Método de ICUMSA según H.S. de Whalley.

$$2.- \text{Índice de color} = 1000 \frac{(AC_{420} - 2AC_{720})}{bc}$$

Donde b= espesor de capa.

c= concentración

Ac= atenuancia a la longitud de onda correspondiente.

- 3.1.- Conectar el medidor de diferencia de color de Gardner y esperar una hora para que se establezcan las células fotoeléctricas.
- 3.2.- Colocar el patrón previamente calibrado en el aparato y hacer las lecturas en el galvanómetro.
- 3.3.- Mover el galvanómetro hacia la posición mínima y equilibrar la aguja del dial para usar el control Rd (L).
- 3.4.- Repetir la etapa anterior con el galvanómetro en posición máxima.
- 3.5.- Repetir para los controles "a" y "b".
- 3.6.- Colocar la muestra o pulverizados en forma óptimamente clara.
- 3.7.- Reajustar y anotar lecturas.

**Notas:**

1.- Los patrones pueden hacerse de plástico (son los preferidos) o de acero revestido de porcelana o bien adquiridos en el comercio con un amplio margen de luminosidad y tonalidad. El Mansell Book of colour contiene un modelo básico de referencias de 1.5 X 2 cm.

2.- Cuando se sospecha que las variaciones en la textura de la muestra producen resultados no fiables será preciso tomar diferentes lecturas mientras que la muestra esté en rotación.

3.- Si existe el riesgo de que el líquido gotee en el aparato debe colocarse un portaobjetos para cubrir el espacio abierto de la ranura.

4.- A través de la abertura de inspección debe comprobarse que la muestra cubre la ranura de exposición.

5.- Los líquidos espesos o intensamente coloreados deben diluirse al 10% de su intensidad antes de realizar las lecturas.

6.- Las lecturas se expresan normalmente como valores Rd o L y la relación permite obtener comparaciones útiles.

7.- Para conseguir un campo visual uniforme en un producto texturado de espesor variable se coloca en su superficie una gruesa capa de glicerina.

8.- Las diferencias en el tamaño de partículas o de gránulo producen variaciones en las lecturas del color.

**3.10.3 ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCIÓN.-**

- 1.- Macerar 0.5 gr. de muestra descortezada con 90 ml. de agua destilada.
- 2.- Transferir a un matraz volumétrico y diluir hasta la señal de enrase.
- 3.- Mezclar.
- 4.- Centrifugar y eliminar el líquido sobrenadante.
- 5.- Transferir el líquido de la parte superior a la cubeta de un espectrofotómetro de absorción y determinar la densidad óptica a 330 nm (20).

### **3.11 INSTRUMENTACIÓN HUNTERLAB.-**

#### **3.11.1 COLOR Y APARIENCIA.-**

La apariencia de un producto es, a menudo, el factor determinante en la decisión de compra. Productos que parecen ser diferentes pueden provocar el rechazo del consumidor.

La apariencia es esa propiedad de un objeto que se ve primero y que, a la vez, deja una impresión duradera. La apariencia de un objeto se compone de dos atributos principales: cromáticos y geométricos.

Atributos cromáticos: aquellos asociados a color, tales como:

- Matiz: color percibido de un objeto, como rojo, amarillo, verde, azul o púrpura.
- Pureza: grado de alejamiento del color del gris, llamado también saturación, cromaticidad, viveza o brillantez.
- Turbidez: la dispersión de la luz dentro de o en la superficie de un objeto casi transparente, responsable de una apariencia nebulosa.

Un simple cambio en estos atributos geométricos (tal como el brillo) puede causar un cambio aparente en el color percibido de un objeto. El color puede verse por reflexión o por transmisión difusa.

El método para medición instrumental depende del método utilizado para la evaluación visual.

- Observando el color.-

Una fuente de luz, un objeto y la combinación de ojo/cerebro. Algo que hacemos todos los días. Para poder construir un instrumento que duplique este proceso, tenemos que ponernos de acuerdo en un método lógico para descubrir el color y, luego, debemos tratar de analizar y cuantificar (reducir a números) todos los elementos básicos de esta situación de observación visual.

Así, las placas acromáticas: van del negro al blanco, en términos de una sola cualidad variable, la luminosidad, también conocida como valor. Las cromáticas que presentan color. Reconociendo que hay un grupo de rojos que difieren claramente unos de otros, podría descubrirse que hay una tercera cualidad del color, relacionada con cuanto color, saturación, pureza o cromaticidad contiene.

El sistema munsell de color, desarrollado por el artista Alberth H. Munsell hacia 1905, ha sido usado extensamente por artistas y diseñadores. En este

sistema los colores se ordenan alrededor del eje vertical de los colores acromáticos, situando los colores más saturados hacia el exterior del sólido.

Aún cuando el sistema Munsell posee ventajas, la especificación de colores en el sistema sigue siendo subjetiva.

Ejemplo.- La especificación de color amarillo de un autobús escolar en el sistema Munsell sería:

10YR 7/10

Donde: 10 YR es el matiz, en este caso amarillo rojizo.

7 indica el grado de luminosidad.

10 indica el grado de pureza.

Para poder construir un instrumento que produzca una representación numérica de esta situación, cada elemento de la observación visual debe cuantificarse o, reducirse a una tabla numérica.

Veremos los tres elementos necesarios.

- La luz:

La luz visible es una pequeña porción del espectro electromagnético, el cual incluye ondas de radio y rayos X, así como luz ultravioleta e infrarroja. La luz puede observarse según su longitud de onda, medida en nanómetros. La luz de cualquier fuente puede especificarse según la energía relativa (o la cantidad de luz) emitida en cada longitud de onda. Graficando esta energía en función de la longitud de onda se obtiene la curva de distribución espectral de la fuente de luz (una tabla de números).

Para efectos de normalización, La Comisión Internacional de Iluminación, conocida también como CIE por sus siglas en Francés (Comisión Internacionales de l'Eclairage), estableció fuentes de iluminación estándar.

Fuentes e Iluminantes Estándares CIE.

Una fuente de luz física real, que puede encenderse o apagarse.

Una iluminante está definida por una distribución espectral específica, y puede no ser posible construir una fuente que la reproduzca.

Las iluminantes usadas con más frecuencia son: D65 (es la iluminante luz de día mas utilizada).

- El Objeto.

Los objetos modifican la luz. Los colorantes y pigmentos absorben selectivamente algunas longitudes de onda, en tanto que reflejan (o transmiten otras). Vemos el color amarillo porque todas las otras longitudes de onda han sido

absorbidas y sólo queda para verse la longitud de onda correspondiente al amarillo.

La luz reflejada (o transmitida) puede cuantificarse con un instrumento llamado espectrofotómetro – un instrumento que mide la cantidad relativa de luz en cada longitud de onda.

- El Observador.

No tan simple de explicar, para entender este elemento hay que revisar ciertos experimentos. Para obtener los números de luminosidad de las diferentes longitudes de onda, en 1923 se realizó una investigación con 52 observadores a los que se les pidió ajustar la intensidad de fuentes de luz distintas longitudes de onda hasta que pareciera tener la misma luminosidad (brillo). Los resultados fueron adaptados por la CIE como la función de luminosidad estándar del ojo humano. Vemos mas fácilmente la luz en la porción verde-amarillo del espectro, alrededor de los 550 nm, que en cualquier otra parte de el mismo.

Pero también se tenía que cuantificar al observador humano. Esto se consiguió mas tarde, basándose en la mezcla aditiva de tres luces coloreadas y en el hecho de que el ojo humano hay tres tipos de receptores con forma de cono, responsables de la visión del color. En 1928 y 1931, W. D. Wright y J. Guiad, efectuaron experimentos de reproducción de luces de color. Después de efectuar transformaciones matemáticas de los datos de los observadores, la CIE adoptó las funciones de respuesta de reproducción de color, que se conocieron como el observador estándar CIE 2° 1931.

- Observadores Estándares CIE.

El Observador Estándar CIE 1931:

Campo de visión de 2°.

El Observador Estándar Suplementario CIE 1964:

Campo de visión de 10°.

Los tres elementos de la situación de observación visual han sido cuantificados:

- Luz: Datos de distribución de la energía espectral.
- Objeto: Datos de % de reflectancia espectral relativa.
- Observador: Datos de observador estándar CIE.

La luz, el objeto y el observador existen ahora como tablas de números: pueden combinarse para definir el color de un objeto como lo vería el observador estándar CIE bajo una particular fuente de iluminación.

Este proceso matemático más bien complicado requiere de la multiplicación de los tres componentes de la situación de observación visual una vez que han sido escogidos una iluminante y un observador estándar.

Para mejorar la comprensión del sistema triestímulo original, la CIE recomendó un sistema de cromaticidad para identificar aquellos aspectos de la apariencia de color, distintos de la iluminosidad. Para ello la Comisión propuso las coordenadas de color X, Y definidas como:

$$X = X / (X+Y+Z) \quad Y = Y / (X+Y+Z)$$

Tomándolas juntas e incorporándolas en un diagrama de cromaticidad, se desarrolla la relación X, Y con la apariencia de color.

En 1942, E. Q. Adams y R. S. Hunter, habían propuesto unas transformaciones matemáticas al sistema CIE, basadas en una teoría radicalmente nueva de la visión humana del color. La teoría de los colores oponentes, mostrada aquí, sirvió de base para las populares escalas de color tipo L, a, b, que siguieron.

- El Sólido Color L, a, b.

Un sistema de escalas de colores oponentes, de tres ejes, basada en la teoría de que el color se percibe como sensaciones negro-blanco (L), rojo-verde (a) y amarillo-azul (b).

Los valores para el autobús escolar amarillo graficados en el espacio de color tridimensional L, a, b. Nótese la similitud con el sistema original Munsell:

- Matiz (Hue) alrededor de los ejes "a" y "b".
- Saturación (Chroma) alejándose del eje "L".
- Luminosidad (Lightness) a lo largo del eje "L".

Las dos escalas tipo L, a, b más populares. Ambas se relacionan matemáticamente con los valores triestímulo CIE XYZ. Hunter utilizó una función de raíz cuadrada de la luminosidad (Y) mientras que la CIE utilizó una raíz cúbica.

- Comparando Escalas de Color.

Esto en la grafica anterior, la escala Hunter luce contraída en la región del azul mientras que la CIE parece sobre expandida en la región del amarillo, lo que hace la diferencia entre las escalas y hace mas recomendable para su uso a la CIE LAB. (33).

### 3.11.2 EJEMPLOS DE EQUIPO DE MEDIDA DE COLOR HUNTERLAB.-

Entre los Instrumentos ideados por HunterLab para la medición de color se encuentran:

- 1.- ColorFlex.
- 2.- LabScanXE.
- 3.- MiniScanXE.

Todos utilizados en la medida de color de muestras sólidas o semisólidas de características no completamente uniformes.

- 1.- El ColorFlex.-

Este instrumento es pequeño, con un banco o espacio en su parte superior, es un espectrofotómetro de reflectancia. Contiene un teclado, pantalla con varias opciones y es ideal para aplicaciones de control de calidad en una amplia gama de industrias.



Fig. 22 El colorFlex. (39).

El ColorFlex puede medir el color de diferentes tipos de productos incluyendo materiales brutos, verificación de acabados de color en productos o verificación de color a través del proceso. Los datos pueden ser almacenados en la memoria o impresos también puede ser usado con una PC.

- Puede medir la reflectancia de colores sólidos, polvos y líquidos.
- Usa poco espacio e incluye una mayor escala de color, iluminante e índice.



Hay dos variantes:

a) El ColorFlex Tomato color meter: es un sistema diseñado por la USDA para la evaluación de color en productos de tomate, de acuerdo con los estándares de EU para las pastas de tomate, salsas de tomate, jugo o catsup de tomate.



Fig. 23 El ColorFlex Tomato Color meter. (39).

b) El ColorFlex Citrus meter: sistema de medición en cítricos. El instrumento de medición números cítricos, rojo-cítrico y amarillo cítrico. Estos índices fueron usados primero para marcar la concentración del jugo, en la práctica se utiliza también para medir jugo de uva.



Fig. 24 El ColorFlexCitrus meter. (39).

**2.- El LabScanXE.-**

Es un espectrofotómetro con un porta muestras de 1.75 pulgadas, es usado para medir la reflectancia de los semilíquidos translucidos, en un vaso de muestra con un disco, anillo y una tapa para cubrir la muestra. Algunas muestras de semisólidos requieren de una preparación y presentación compensatoria en orden de la medición de la muestra. Este versátil espectrofotómetro mide la reflectancia de color en la forma en la que el ojo la ve, incluso el efecto de brillo. Mide muestras casi en cualquier forma de sólido y de polvos a líquidos.



Fig. 25 El LabScanXE. (24).

Esta diseñado para mantenerse libre y portátil. Es ampliamente utilizado con funciones que incluyen estandarización automática interna para una referencia interna para mantener la estabilidad de medición máxima y un control UV para la medición de iluminantes ópticos.

**3.- El MiniScanXE.-**

Este espectrofotómetro puede ser usado para medir la reflectancia de muestras planas, sólidos opacos, cuando el instrumento que es portátil, se coloca sobre la muestra. Este método es el usado idealmente para la medición de muestras planas, sólidos opacos, incluyendo trozos de pintura, losa de cerámica, tablas de forro de vinil y hasta alimentos como pan y quesos sólidos.



Fig. 26 El MiniScanXE. (39).

**IV. CONCLUSIONES.-**

La evaluación de color en frutos es un importante factor para la caracterización del índice de madurez y alteraciones físicas. También da una muestra de la calidad del fruto y su valor nutricional, es así, como establece un rango de aceptación para el consumidor.

La evaluación de color por instrumentos especializados, muestra un avance tecnológico del hombre en términos de la evaluación de calidad en la industria alimenticia.

Se inspiró en el conocimiento de rutas de síntesis de pigmentos presentes en los frutos, para establecer condiciones físicas y químicas en las cuales se desarrollan.

La evaluación de color en frutos es una medida importante y disponible para la mejora productiva en frutos.

Se dieron a conocer alternativas de medición de color de equipo actual disponible y su aplicación en la industria alimenticia.

Se caracterizó a las sustancias cromáticas responsables del cambio de color en frutos y se apreciaron las propiedades colorimétricas de los pigmentos presentes en los frutos así como su papel dentro del desarrollo de la planta y la fotosíntesis.

**V. BIBLIOGRAFIA.-**

1. - Alzamora, M. S., Tapia, S. M., López M. A., 2000, Minimally Processed Fruits and Vegetables Fundamental Aspects and Applications, An Aspen Publications, pp. 111 -125.
- 2.- Anzaldúa, M. A., 1994, La Evaluación Sensorial de los Alimentos, Acribias S. A., pp.1 -2, 11 -17.
- 3.- Azcón, B. J., Talon, M., 2000, Fundamentos de Fisiología Vegetal, Mc Graw Hill Interamericana, pp. 268, 285 -286, 419 -433, 451 -463.
- 4.- Bastin, R., 1970, Tratado de Fisiología, Cia. Editorial Continental S. A., pp. 117-139.
5. - Bartholomew, T. E., Sinclair, B. W., 1951, The Lemon Fruit, University of California Press, pp. 11, 17 -19.
- 6.- Berlin, D. J., 1982, Fruticultura, Trillas, pp. 9 -16.
7. - Bonner, J., Varner, E. J., 1976, Plant Biochemistry, Academic Press, pp. 785 -788.
- 8.- Braverman, J. B. S., 1980, Introducción a la Bioquímica de los Alimentos, El Manual Moderno, pp. 207 -218.
- 9.- Calderón, A. E., 1987, Manual de Fruticultura Moderna, Limusa, Vol. I, pp. 184 -185.
10. - Childers, F. N., 1972, Modern Fruit Science, Horticultura Publications, pp. 302-315, 317-322.
- 11.- Cordoba, C. V., 1970, Fisiología Vegetal, H. Blome Ediciones, pp. 281-287.
- 12.- Devlin, M. R., 1975, Plant Physiology, D. Nan Nostrand Company, pp. 224-228.
- 13.- Dieter, H., 1980, Fisiología Vegetal, Omega, pp. 264-271.
14. - Eausu, K., 1953, Plant Anatomy, John Wiley and Sons Inc., pp. 586-604.
- 15.- Greulach, V. A., 1970, Las Plantas, Limusa, pp. 199-200, 217-227, 393-408.

- 16.- Halfacre, G. R., Barden, J. A., 1979, Horticultura, AGT Editors S. A., pp. 131-136, 139-142, 265-266.
- 17.- Holdsworth, S. P., 1988, Conservación de Frutas y Hortalizas, Acribia S. A., pp. 15-20.
- 18.- Kader, A. A., 1992, Postharvest Technology of Horticultural Crops, Publicatios Division of Agricultura and Natural Resorses, pp. 21-26, 186.
- 19.- Knee, M., 2005, Fruit Quality and its Biological Basic, Sherfield Academic Press CRC, pp. 8-10, 25-26, 253-254, 258-261.
- 20.- Less, R., 1995, Analisis de Alimentos y Control de Calidad, Acribia S. A., pp. 100-109.
- 21.- Meyer, R. A., 1981, Elaboración de Frutas y Hortalizas, Trillas, pp. 9-10, 14-15.
- 22.- Nakasone, Y. H., Paul R. E., 1999, Tropical Fruits, Lab. Internacional CABI, pp. 149-172.
- 23.- Nuez, F., Ortega, G. R., Coster, J., 1996, El Cultivo de Pimiento Chiles y Ajies, Mundi-Prensa, pp. 506-515, 520-530.
- 24.- Ott, B. D., 1992, Manual de Laboratorio de Ciencia de los Alimentos, Acribia S. A., pp. 161 -180.
- 25.- Potter, N. N., 1999, Ciencia de los Alimentos, Acribia S. A., pp. 104-106.
- 26.- Rojas, G. M., 1985, Fisiologia Vegetal, McGraw Hill, pp. 205-225.
- 27.- Shewfelt, L. R., Prossia, E. S., 1993, Postharvest Handling a Sistem Approach, Academic Press Inc., pp. 103-106, 109-112.
- 28.- Sinclair, B. W., 1961, The Orange its Biochemistry and Physiology, University of California, pp. 302-315, 317-322.
- 29.- Skogg, A. D., Holler, N., 2001, Principios de Analisis Instrumental, McGraw Hill, pp. 205-225.
- 30.- Varios Autores, 1998, Historia Natural, Grupo Editorial OCEANO, Vol. IV, pp. 578-586.
- 31.- Wilkings, B. M., 1990, Advanced Plant Physiology, Longman Scientific and Technical, pp. 111-124.

- 32.- Balderas, E. M., 2000, Relación de los azúcares y la actividad de la trehalasa con tolerancia a la sensibilidad de mango y guayaba, U. A. Q., pp. 43-44.
- 33.- Seminario de Color y Apariencia., Programas Educativos HunterLab Para la Medición y Apariencia, Guadalajara, Jal., pp. 1-13.
- 34.- <http://www.scielo.cl/cgi-bin/wxis.exe/iah/>
- 35.- <http://www.color.us.es/componen.htm>
- 36.- <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/fruyhurt/eletileno.htm>
- 37.- <http://www.isasaleon.com.mx/productos/hunter022.htm>
- 38.- <http://www.conicyt.cl/bases/fondecyt/proyectos/01/2001/1010258.htm>
- 39.- <http://www.hunterlab.com/pdf/color-s-pdf>
- 40.- [http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema\\_11.htm](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_11.htm)
- 41.- <http://www.uc.cl/.../html/portadaMlval10.4.3.htm>
- 42.- <http://www.bvsde.ops-oms.org/tutorial/ecologicos/ecologia.html>
- 43.- [http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/21/colecta.html?id\\_pub=21](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/21/colecta.html?id_pub=21)
- 44.- <http://www.linux.ajusco.upn.mx/fotosintesis/cloroplasto.html>
- 45.- [http://www.biologia.edu.ar/plantas/reguladores\\_vegetales\\_2005/Reguladores%20vegetales.htm](http://www.biologia.edu.ar/plantas/reguladores_vegetales_2005/Reguladores%20vegetales.htm)
- 46.- <http://www.botanica.cnba.uba.ar/Trabprac/Tp5/frutonuevoFP.htm#Estructura%20del%20fruto>
- 47.- <http://www.food-info.net/es/caro/stru.htm>
- 48.- <http://www.forest.ula.ve/-rubenhg/fotosintesis>