

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE QUIMICA



## LA GUAYABA: ALGUNOS ASPECTOS BIOQUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS DURANTE SU CULTIVO Y PRESERVACION

T E S I S

Que para obtener el Título de:

QUIMICO FARMACEUTICO BILOGO

p r e s e n t a :

MARIA ESTELA CEVALLOS FERRIZ

México, D. F.

1978



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

TESIS 1978

DO. M. ~~OB~~ 98  
ECHA \_\_\_\_\_  
REC. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



PRESIDENTE : CATALINA OROZCO VICTORIA  
VOCAL : CARLOS DEL RIO ESTRADA  
SECRETARIO : LILIA VIERNA GARCIA  
1er SUPLENTE: ALFREDO ECHEGARAY ALEMAN  
2do SUPLENTE: ROSA MARIA RAMIREZ GAMA

México, D.F., agosto de 1978.

SUSTENTANTE: MARIA ESTELA CEVALLOS FERRIZ

ASESOR DEL TEMA: LILIA VIERNA GARCIA

A FEDERICO

A KATYA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

## RECONOCIMIENTO

Agradezco la colaboración  
y el apoyo que la Profesora  
Lilia Vierna García me  
brindó durante el desarrollo  
de este trabajo.

# INDICE

	Página
Introducción	1
Capítulo I	
Composición química y fisiología del fruto	4
Condiciones ambientales que afectan la velocidad de respiración	19
Cambios que sufre el fruto durante su maduración	21
Estudios realizados sobre el fruto	
<u>Psidium guajava</u>	24
Efecto de sustancias reguladoras del crecimiento sobre la guayaba	34
Capítulo II	
Microbiología	37
Estudios realizados en el fruto del guayabo	43
Capítulo III	
Preservación y almacenamiento del fruto	56
Conclusiones	64
Resumen	66
Referencias	67

## Introducción.

En el presente trabajo se ha hecho una recopilación de las investigaciones hasta ahora realizadas sobre la guayaba. La finalidad de esta recantulación es contribuir a los estudios que está realizando la Comisión Nacional de Fruticultura sobre la preservación de frutos frescos.

Para poder establecer el mejor método de preservación de un fruto es indispensable conocer su composición química, los cambios que sufre durante su desarrollo y maduración, para poder determinar los microorganismos que puedan parasitarlo.

Actualmente en México se está incrementando mucho el cultivo del guayabo debido al gran contenido vitamínico que presenta su fruto. Este frutal se ha aclimatado en casi todas las zonas tropicales y subtropicales del mundo. En la República Mexicana se encuentra desde el nivel del mar hasta 1700m de altura. Las zonas productoras más importantes que en estos tiempos en México son:

<u>ENTIDAD</u>	<u>MUNICIPIOS</u>
Aguascalientes	Calvillo
Veracruz	Misantla, Altotonga, Santiago de Tuxtla, Juchique de Ferrer y otros Municipios.
Jalisco	Mascota, Pihuano, Talpa de Allende, Tamazula de Gordiano, Jilotlán de los Dolores.
Guerrero	Teosotlán, Florencio Villarreal, Ometenec, Chilpancingo

Caxaca

San José Tenango, Santa María  
Ibalapa, Santo Domingo, otros  
Municipios

El guayabo es originario de América. Es un árbol pequeño o arbusto, que pertenece al orden de los Rosales y a la familia de las Mirtáceas. La familia de las Mirtáceas comprende varios géneros, entre ellos al género *Psidium* al cual pertenece este frutal.

Las especies más recomendadas por sus frutos y que dan mejores resultados en la cuenca mediterránea son:

*Psidium cattleyanum* sabin

*Psidium guajava* raddi

Entre otras especies que se han encontrado se pueden mencionar:

*Psidium Friedrsehsthalianum* Ndz.

*Psidium molle* Bertol

*Psidium guinanse* SW

Cada una de las especies y sus variedades presentan diferencias en tamaño, forma, color y sabor del fruto.

El guayabo es un árbol muy rústico, pero sus mejores frutos los produce en las zonas de lluvias moderadas. El fruto es ovalado, redondo o piriforme de 1 a 4 pulgadas de diámetro, cuyo color puede variar desde el blanco hasta un rosa fuerte o rosa salmón. La mayoría de las variedades tienen muchas semillas alojadas en la pulpa suave del centro. Al madurar el fruto se vuelve suave y jugoso y se puede comer fresco, en jugo o néctar. Algunas variedades presentan un sabor característico más intenso que otras y la acidez también puede variar desde aquellas que presentan un pH de 3.0 hasta algunas pocas que tienen un pH de 4.0. Desde el punto de vista nutricional aún las guayabas

silvestres presentan un mayor contenido de vitamina C que las naranjas. Este fruto también es una buena fuente de vitamina A, calcio y fósforo, además de que contiene algo de hierro, timina y niacina.

Los estudios en que se basó el presente trabajo fueron realizados, en su mayoría, en la especie Psidium guajava .

Capítulo I

## COMPOSICION QUIMICA Y FISIOLOGIA DEL FRUTO.

Los frutos, como cualquier ser viviente, contienen gran variedad de compuestos químicos y presentan diferencias considerables en composición y estructura. Un fruto, dado que está constituido por tejidos vivos metabólicamente activos, varía constantemente en composición. La velocidad de dichos cambios dependerá de la fisiología y del estado de madurez del producto considerado.

A continuación se tratarán los principales constituyentes químicos de un fruto.

### Agua

[Es el constituyente más abundante y puede llegar a representar hasta un 96% del peso total del fruto.] Dada una cantidad ilimitada de humedad disponible, el contenido de agua de un tejido vegetal llega a un valor máximo característico relacionado con un estado de turgor completo de las células que lo constituyen. Turgor o turgencia es el estado bajo el cual la célula es incapaz de absorber más agua. En la planta intacta que se encuentra en desarrollo el abastecimiento de agua de los tejidos depende del equilibrio entre la cantidad de agua absorbida a través de las raíces y la cantidad perdida por la transpiración de las hojas y otras partes aéreas. Las condiciones inadecuadas de humedad causan el marchitamiento de la planta. Esta situación se presenta comúnmente en los productos cosechados, en donde se ha eliminado la fuente natural de agua.

La facilidad con que un producto se marchite variará con el grado en que sus superficies externas se modifiquen estructuralmente para reducir la pérdida de agua.

### Carbohidratos.

{ Los productos inmediatos del proceso fotosintético son azúcares simples. Los carbohidratos de un fruto incluyen polisacáridos aparte del almidón, que forman parte de las paredes celulares, así como azúcares, principalmente sacarosa, glucosa y fructosa, los cuales se acumulan en el interior de la célula. } Cuando existe almidón éste se acumula en pequeñas granulaciones de estructura característica, inicialmente formadas en el citoplasma, pero que pueden ocupar la mayor parte del volumen celular. } La proporción de los diferentes carbohidratos varía debido a la actividad metabólica de la planta. } Así, durante la maduración del fruto ocurren grandes cambios que se tratarán más adelante. } En el estado de madurez la mayoría de los carbohidratos de un fruto se encuentran en forma de azúcares. }

Los constituyentes de la pared celular son celulosa, hemicelulosas y materiales pécticos. La celulosa es el componente principal y está constituido por cadenas de  $\beta$ -glucosa. Las hemicelulosas forman un grupo heterogéneo de compuestos, cuyas moléculas pueden contener cualquiera de diferentes residuos monosacáridos de hexosas y pentosas y en algunos casos pueden incluir residuos de ácido glucurónico. Los materiales pécticos están constituidos por residuos de ácido D-galacturónico, unidos por las posiciones 1-4 y se encuentran esterificados en diferentes grados con alcohol metílico. } Dichas cadenas pueden entrelazarse en diversas formas. Existen materiales pécticos altamente insolubles constituidos por moléculas muy entrelazadas, como la protopectina, así como cadenas cortas no ramificadas de bajo peso molecular. } Las proporciones relativas de celulosa, hemicelulosa y sustancias pécticas varían enormemente de tejido a tejido, de especie a especie y con el estado de madurez del órgano correspondiente. }

Existe además otra sustancia, la lignina, que aun ue no es un carbohidrato, se encuentra asociada a la pared celular de las plantas. La lignina confiere rigidez y dureza a la pared celular. La lignificación tiene un efecto muy importante en la textura, causando fibrosidad y tirantez dependiendo de su distribución en los tejidos, aunque representa menos del 2% del peso seco del tejido. Es un polímero tridimensional, cuyas unidades básicas son residuos aromáticos.

### Proteínas.

Las proteínas representan menos del 1% del peso en fresco de un fruto. Sin embargo, deben considerarse constituyentes estructurales, ya que son los componentes sólidos que se encuentran en mayor proporción en el citoplasma. Los sistemas enzimáticos que tienen importancia primordial en la fisiología y en el comportamiento post-mortem de los frutos, se encuentran constituidos por proteínas. Existen además aminoácidos libres y compuestos nitrogenados simples de bajo peso molecular.

Las enzimas, además de controlar la composición del fruto antes y después de la cosecha, si no son inactivadas en algún paso durante el procesamiento del fruto, pueden causar marcados cambios en la calidad del producto. Como ejemplo podemos mencionar las óxido-reductasas, como la peroxidasa, catalasa, deshidrogenasas, que parecen existir en todos los tejidos vegetales. Las peroxidasas, que son muy resistentes al calor, son las responsables de los malos olores de frutos congelados y almacenados. La enzima oxidasas del ácido ascórbico destruye la vitamina C. Las enzimas pectolíticas pueden causar cambios en la textura. Los frutos cítricos, y la guayaba entre ellos, contienen pectin-esterasa,

que senara los grupos metoxílicos de las moléculas de pectina. Esta enzima probablemente está involucrada en el ablandamiento de los tejidos durante la maduración. En los tejidos que contienen almidón existen amilasas para controlar la relación almidón-azúcares en el tejido. El contenido enzimático de cada fruto dependerá de su actividad metabólica.

### Lípidos.

Los lípidos de los frutos se encuentran asociados con las superficies de las membranas. Representan menos del 1% del peso de un fruto. Sin embargo son bastante importantes en los tejidos protectores de las superficies de los órganos de las plantas, por ejemplo, en la cutícula, epidermis y corteza de corcho.

### Acidos Orgánicos.

Durante los procesos metabólicos normales se forman gran cantidad de ácidos orgánicos; por ejemplo, en el ciclo de Krebs durante la degradación de carbohidratos. Algunos de estos ácidos y varios otros pueden acumularse en los tejidos en cantidades considerables. Como resultado, los frutos son de reacción normalmente ácida. Los ácidos más frecuentemente encontrados y más abundantes son el ácido cítrico y el málico. Las proporciones relativas de los diferentes ácidos no son constantes, como se ejemplifica en la guayaba más adelante. Los frutos en general presentan una disminución en acidez durante su maduración. Así, las proporciones de los diferentes ácidos también pueden variar en las diferentes partes de una misma estructura.

### Pigmentos.

Los colores estructurales de los frutos están dados por un gran número de compuestos químicos incluidos en tres grandes grupos: clorofilas, carotenoides y pigmentos flavonoides.

### Clorofilas.

Son los pigmentos verdes de las plantas y tienen un papel muy importante en la fotosíntesis. Se localizan en órganos especiales llamados cloroplastos, los cuales contienen numerosas partículas pequeñas llamadas grana, constituidas por láminas proteicas entre las cuales se encuentran depositadas las clorofilas a y b, acompañadas de dos pigmentos carotenoides, caroteno y xantofila. Están constituidas por un esqueleto tetrapirrólico con un átomo de magnesio en el centro. Presentan éstas de ácidos dicarboxílicos con alcoholes metílico y fitílico.

### Pigmentos carotenoides.

Son pigmentos amarillos, anaranjados o de color rojo-naranja. La estructura molecular básica es un hidrocarburo insaturado. El color se debe a los numerosos dobles enlaces conjugados presentes en la molécula. Las nuevas partículas de xantofilas y carotenos asociados a la clorofila persisten, una vez degradadas éstas, hasta colorear tejidos envejecidos y la cáscara de los frutos maduros. Sin embargo pueden existir carotenoides en tejidos no verdes, anaranjados como pepinos cristales en el citoplasma. Estos carotenoides son los responsables del color amarillo o rojo-anaranjado de muchos frutos, incluyendo el guayaba. La estructura molecular de estos pigmentos es importante en relación al valor nutritivo de diversos frutos, ya que los beta-carotenos al ser incluidos en la dieta pueden proporcionar vitamina A.

### Pigmentos flavonoides: las antocianinas

Las antocianinas forman un grupo de sustancias flavonoides rojas, azules o púrpuras, que incluyen los pigmentos dominantes de muchos frutos. Existen naturalmente como glucósidos disueltos en el jugo celular. El color del pigmento variará tanto con los radicales que presente la molécula, como con el pH del producto; así en condiciones alcalinas se acentúa el azul, mientras que la acidez resalta el rojo. El color debido a los pigmentos de antocianinas es muy inestable, especialmente cuando por hidrólisis de la molécula se libera antocianidina. Este proceso ocurre enzimáticamente en productos cosechados. Las antocianidinas son fácilmente oxidadas por enzimas celulares (fenoloxidasas) dando productos de oxidación color café. Este tipo de oxidación puede evitarse en presencia de ácido ascórbico y si se desarrolla la decoloración significa que el propio ácido ascórbico ha sido destruido.

### Elementos minerales.

La cantidad total de minerales de un fruto está representada por el contenido de cenizas. Las plantas absorben del suelo los minerales que en él se encuentran. Sin embargo, debido a la aplicación de fertilizantes y los consecuentes cambios en el contenido mineral del suelo, no se ha podido correlacionar exactamente el contenido de minerales de la planta y el del suelo en el que desarrolla. El mineral más abundante en los frutos es el potasio que se encuentra combinado con varios ácidos orgánicos en el jugo celular. El pH de los tejidos de los frutos se encuentra controlado por un equilibrio potasio/ácido orgánico. El calcio se encuentra asociado a los materiales pécticos de la pared celu-

lar. El magnesio abunda en los cloroplastos unido a la clorofila. El fósforo es un componente de nucleoproteínas y proteínas citoplasmáticas.

Los metales pueden influenciar el color de un fruto combinándose con componentes orgánicos. Los micronutrientes (cobre, manganeso, zinc, boro, molibdeno y cloro) son constituyentes de los grupos prostéticos de las enzimas tisulares que controlan la actividad metabólica del fruto ya cosechado y pueden causar cambios muy marcados durante el procesamiento.

#### Constituyentes del sabor.

Los sabores de los frutos, como los de otros alimentos, son una combinación de sensaciones de olfato y gusto. Los azúcares, por ejemplo, dan la sensación de dulce, mientras que los ácidos orgánicos son responsables de sabores agrios. El sabor amargo no es muy común en los frutos, sin embargo algunos flavonoides son muy amargos. Cada uno de estos elementos contribuye al sabor del producto. Sin embargo, son los constituyentes volátiles que estimulan el sentido del olfato, los responsables de las características del sabor de cada especie. En algunos casos se encuentran disueltos en hidrocarburos terpenoides formando los llamados aceites esenciales, los cuales pueden ser secretados en sacos especiales como en la cáscara de los frutos cítricos. Sin embargo existen más comúnmente distribuidos a través de los tejidos. Los componentes odoríferos de los frutos son compuestos oxigenados - ésteres, alcoholes, ácidos, aldehídos y cetonas - muchos de los cuales son derivados de hidrocarburos terpenoides o de ácidos y alcoholes alifáticos. Entre los compuestos que encontramos con mayor frecuencia están

los ácidos fórmico y acético, alcoholes metílico y etílico, acetaldehído, diacetilo, acetilmetilcarbinol y geraniol.

### Fisiología del fruto.

Como ya se mencionó, los frutos son estructuras vivientes, cuya composición química cambia constantemente debido a la actividad metabólica del mismo. Al separar un fruto de la planta madre sus tejidos pierden la fuente natural de agua, minerales y en algunos casos, de productos orgánicos simples que les llegaban de otras partes de la planta. Sin embargo, el tejido sigue siendo capaz de llevar a cabo gran cantidad de transformaciones metabólicas entre los constituyentes orgánicos que ya contiene. Dicha actividad puede causar deterioros en su calidad, mientras que en otros casos puede ser esencial para adquirir el grado de madurez necesario. La pérdida de agua es, invariablemente, indeseable, ya que causa marchitamiento y reseca los productos.

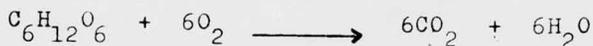
El proceso metabólico más importante en la planta cosechada es la respiración, en donde se degradan sustratos orgánicos y se consumen las reservas acumuladas. En los frutos la energía liberada durante la respiración es utilizada para sintetizar pigmentos, enzimas y otras moléculas, después de haber sido cortados de la planta original. Estas síntesis son esenciales para su maduración.

El tipo y la intensidad de la actividad fisiológica determinan en gran parte, la longevidad del producto durante su almacenamiento. Algunos órganos vegetales como las semillas, raíces carnosas, tubérculos, etc., están fisiológicamente adaptados para ayudar a la planta en períodos en los que las condiciones ambientales son poco favorables. La actividad metabólica de estos órganos normalmente se encuentra reprimida durante el período latente. Es por esto que estos productos una vez cosechados pueden ser almacenados por largo tiempo. Sin embargo los tejidos de los frutos no

están adaptados de esta manera y normalmente pasan durante una estación de crecimiento por una serie de estadios en los que a la madurez sigue un período de envejecimiento, terminando en la muerte. En estos casos el cosechar puede acelerar el proceso de envejecimiento y esto va asociado a una progresiva pérdida de calidad. El envejecimiento involucra una desorganización progresiva del aparato metabólico de la célula. Para mantener la integridad de dicho aparato se requiere un suministro constante de energía. Esta energía se obtiene principalmente de la respiración. La actividad respiratoria se lleva a cabo en la mitocondria, que presenta una estructura característica compuesta de capas plegadas de un material llamado "cristae". La mitocondria presenta un comportamiento osmótico característico, capaz de acumular sales mediante la utilización de energía. Al madurar la célula la estructura plegada de las mitocondrias va desapareciendo gradualmente con lo cual se va perdiendo la eficiencia respiratoria. Durante el envejecimiento aumenta la desorganización en las mitocondrias. Se cree que la causa primaria de la muerte de las células es la pérdida de la función respiratoria.

[La respiración es el proceso en el que se oxidan sustancias orgánicas de alto contenido energético a compuestos de mucho menor energía.] En condiciones aeróbicas los productos de las reacciones son bióxido de carbono y agua. El metabolismo anaeróbico es energéticamente menos eficiente y los productos son compuestos de peso molecular intermedio como el alcohol etílico. De estos dos procesos la respiración aeróbica es la más importante en los frutos cosechados. El metabolismo anaeróbico sí se realiza bajo ciertas condiciones, especialmente en tejidos que envejecen, ya que la degradación estructural que va ocurriendo puede reducir

la permeabilidad del tejido hacia el oxígeno atmosférico. El proceso anaeróbico también puede ser resultado de la inactivación de los llamados sistemas oxidases terminales y normalmente se encuentra asociada con una marcada pérdida de calidad. Los sustratos más utilizados para la respiración de las plantas son los carbohidratos y los ácidos orgánicos, que además son los más abundantes relativamente. Las vías metabólicas que se siguen son la vía de Embden-Meyerhof-Parnas (E.M.P.) y el Ciclo de Krebs. En la oxidación total una molécula de glucosa es oxidada con 6 moléculas de oxígeno, produciendo 6 moléculas de bióxido de carbono y agua:



La acumulación de algunos ácidos formados durante el ciclo de Krebs causa diferencias en la velocidad de ciertos pasos en el ciclo respiratorio. Así, los ácidos que se encuentran en mayor cantidad en los frutos son el ácido cítrico y el málico. Los hidrógenos obtenidos durante el ciclo de Krebs y durante la glicólisis pasan por la llamada fosforilación oxidativa para formar ATP, que será el compuesto en el que se almacene la energía. En la respiración de los frutos la oxidación final puede estar catalizada por diferentes sistemas enzimáticos, como son la citocromo oxidasa, fenoloxidas, ácido ascórbico oxidasa, etc., que forman los llamados sistemas oxidasa terminales.

Además de éstas, existen otras vías metabólicas. En algunos casos el ciclo de Krebs es bloqueado por la formación de ácido glioxílico a partir de ácido isocítrico, el cual, en presencia de acetil-coenzima A forma ácido málico directamente. La oxidación de carbohidratos también puede seguir el Ciclo de las Pentosas. En esta vía entran seis hexosas y sólo una es oxidada completamente a bi-

óxido de carbono y agua.

La importancia de los diferentes ciclos oxidativos varía de especie a especie, de órgano a órgano y con el estado de desarrollo de la parte de la planta de que se trate. La glucólisis es muy importante en tejidos embrionarios, como las semillas. La oxidación de las pentosas parece ser relativamente más importante en tejidos viejos y se ha demostrado en los frutos maduros de varias especies.

En general se puede decir que la velocidad de respiración indica la rapidez con la cual se están llevando a cabo cambios en la composición de un tejido. Si un producto es cosechado cerca de su estado óptimo de calidad comestible, una alta velocidad de respiración está relacionada con una rápida descomposición. Es lógico pensar que aquéllos productos que presentan una velocidad de respiración más baja serán los que puedan ser almacenados frescos por mayor tiempo sin que pierdan sus características.

En base a sus patrones respiratorios los frutos pueden ser divididos en dos grupos principales: frutos climactéricos y frutos no climactéricos. Los frutos climactéricos presentan un aumento temporal característico en la velocidad de respiración. Esto se observa principalmente en frutos carnosos. Dicho aumento normalmente coincide con los cambios más notables en color, sabor y textura relacionados con la maduración del fruto. A este máximo respiratorio se le ha denominado punto climactérico e indica el inicio del envejecimiento del fruto. El aumento climactérico no depende de ningún cambio en las condiciones ambientales y se ha asociado en un gran número de casos a un aumento en la síntesis de proteínas, en su mayoría enzimas relacionadas con los diversos cambios que sufre el fruto durante su maduración. Se piensa que el aumento climactérico se debe al consumo de grandes cantidades de ATP para la síntesis de proteínas, liberándose ADP

en mayor cantidad que la normal. Esto causa una disminución en la relación ATP/ADP lo cual activa la velocidad de respiración. Sin embargo existen evidencias que contradicen esta explicación. El desacoplamiento de los procesos de fosforilación y oxidación, como ocurre en los tejidos post-climactericos, debería de tener un efecto estimulante en la respiración y no lo tiene.

Otra explicación del aumento en la producción de  $CO_2$  en el punto climacterico puede ser el llamado "efecto malato". Se observó que al tratar tejido de manzana post-climacterico con malato se presentaba un aumento en la producción de  $CO_2$ , sin ningún cambio en el consumo de oxígeno. Esto puede deberse a una descarboxilación anaeróbica del malato, lo cual también explica el aumento en el cociente respiratorio que se presenta en el punto climacterico.

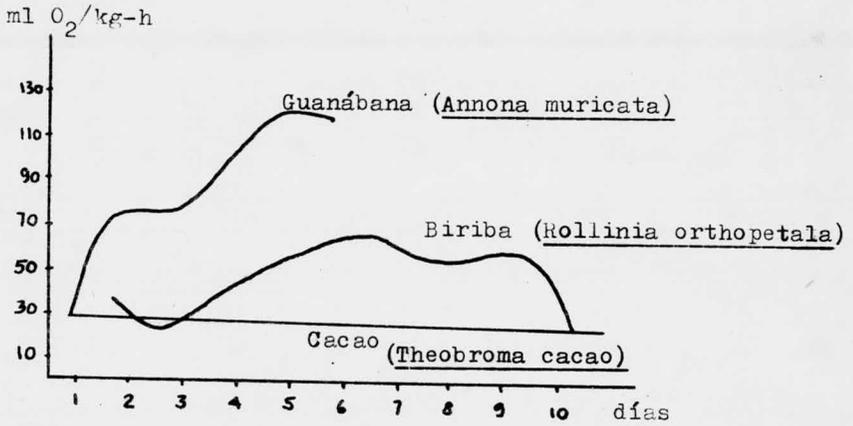
Existen ciertos frutos que no presentan un comportamiento climacterico en su respiración. Entre ellos se encuentran las especies cítricas, así como la piña, la uva y el higo. Mientras las condiciones ambientales no sean alteradas estos frutos respiran normalmente a una velocidad constante o presentan una pequeña disminución conforme van envejeciendo. Cualquier cambio ambiental repentino, como pueden ser la cosecha o algún daño mecánico, puede incrementar la actividad respiratoria, pero el incremento no es climacterico en sí. Así se comportan los frutos no climactericos.

Biale y Barcus (4) en los estudios que hicieron sobre frutos tropicales investigaron el patrón respiratorio de la guayaba. Las determinaciones se hicieron midiendo la cantidad de oxígeno consumido y la cantidad de bióxido de carbono liberado. Se encontró que la guayaba presenta un patrón no climacterico, manteniendo más o menos constantes el consumo y la producción de dichos gases.

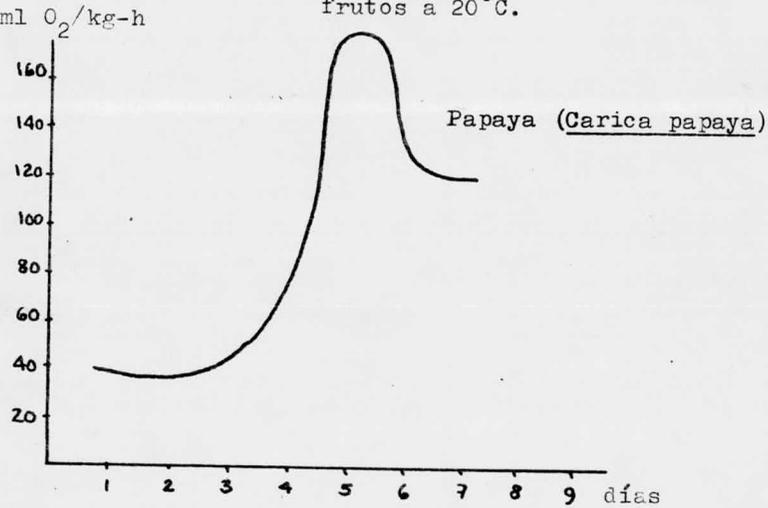
Resultados:

Tipo	Fruto	$\text{mlO}_2/\text{Kg-h.}$	$\text{mlCO}_2/\text{Kg-h}$
Climactérico	Plátano	12-82	11-66
	Mango	26-59	38-60
	Papaya	6-36	6-32
No climactérico	Cacao	35-44	31-37
	Guayaba	34-46	31-46

Se puede observar que en casi todos los casos el cociente respiratorio está cercano a la unidad. Como los azúcares son los substratos en estos frutos, puede concluirse a partir de las velocidades de intercambio gaseoso, que se realiza una oxidación completa.



Aumento climactérico en la respiración de varios frutos a 20°C.



Consumo de oxígeno de la papaya a 20°C.

## Condiciones ambientales que afectan la velocidad de respiración.

### Temperatura.

Los tejidos de las plantas funcionarán normalmente en un determinado rango de temperatura. Fuera de ciertos límites pueden ocurrir daños fisiológicos en ellos. El límite superior de los productos cosechados generalmente se encuentra entre  $30^{\circ}$  y  $35^{\circ}\text{C}$ , mientras que el límite inferior varía mucho de un fruto a otro; así el plátano puede dañarse a una temperatura de  $11^{\circ}\text{C}$  mientras que algunas variedades de manzanas y peras pueden almacenarse a temperaturas de menos de  $0^{\circ}\text{C}$ . Dentro de los límites de cada fruto la velocidad de respiración normalmente aumenta al aumentar la temperatura. En los frutos climactericos la disminución de la temperatura retrasa el incremento climacterico y reduce el tamaño del pico.

### Concentraciones de oxígeno y bióxido de carbono.

En general una reducción en la tensión de oxígeno o un aumento en la concentración de bióxido de carbono disminuye la velocidad de respiración. Si el contenido de oxígeno disminuye por debajo de cierto límite el metabolismo seguirá en forma anaeróbica, acumulando alcohol etílico y acetaldehído, mientras que una concentración muy alta de  $\text{CO}_2$  produce daño en los tejidos. Un buen método para controlar la velocidad de respiración será controlar la ventilación o modificar artificialmente la composición de la atmósfera, como se verá más adelante.

### Etileno.

Durante el proceso de maduración de la mayoría de los frutos se produce etileno en pequeñas cantidades. El etileno emana en forma volátil y tiene un efecto estimulante en la actividad meta-

bólica de otras plantas que se encuentran almacenadas junto con los frutos. El etileno causa la degradación de los pigmentos de clorofila, alterando el color de las hojas, tallos y frutos. Además afecta el curso de la respiración, particularmente en los frutos climactericos, en los que induce una rápida aparición del aumento climacterico. En los productos no climactericos el nivel de la respiración y de otras actividades metabólicas aumenta en presencia de etileno. Estos efectos se reducen o eliminan totalmente a bajas temperaturas de almacenamiento ( $4^{\circ}\text{C}$  o menor).

### Transpiración.

La transpiración es un fenómeno de superficie que dependerá del área expuesta y de qué tanto ésta se encuentre estructuralmente modificada. La causa de la pérdida de agua es la existencia de un gradiente de presión de vapor de agua entre la atmósfera externa y la atmósfera interna cercana a la superficie del fruto. Como la atmósfera interna normalmente se encuentra saturada el factor que determina la velocidad de transpiración será la humedad relativa del aire circundante. Teóricamente se podría evitar la transpiración manteniendo el producto en aire saturado con vapor de agua; pero por razones microbiológicas esto no se utiliza en el almacenamiento comercial. Cualquier aumento en la temperatura causa un aumento en la presión de vapor de agua, pero disminuye la humedad relativa de la atmósfera y por lo tanto aumenta la velocidad de transpiración.

### Cambios que sufre el fruto durante su maduración.

Para poder controlar la actividad metabólica de un fruto es necesario conocer las tendencias respiratorias y los cambios químicos que en él se realizan durante su maduración.

Desde un punto de vista fisiológico los conceptos de madurez y maduración representan dos procesos diferentes. En la madurez las células alcanzan su tamaño máximo y una composición química característica de su especie. La maduración, a su vez, es el proceso que involucra transformaciones químicas que resultan en un sabor, color y textura deseable en el fruto.

Durante la maduración la cantidad de azúcares aumenta debido a la hidrólisis de polisacáridos, aunque algunos de los azúcares formados son utilizados en la respiración. La degradación de los polisacáridos de la pared celular puede contribuir también a aumentar el contenido de azúcares. Los cambios en el contenido de azúcar dependerán del balance entre la respiración y la degradación de polisacáridos.

[El contenido total de ácidos orgánicos generalmente aumenta al principio del desarrollo de un fruto y va disminuyendo progresivamente durante y después de la maduración.] Los ácidos orgánicos, como los carbohidratos, pueden ser utilizados como sustratos en la respiración. Es por ello que cambios tanto en la acidez total como en los niveles de ciertos ácidos en particular pueden estar relacionados con el funcionamiento de los ciclos respiratorios. Se sabe además, que [mientras el fruto permanece unido al árbol, los ácidos orgánicos pueden llegar a él de otras partes de la planta, lo que afectará el contenido de ácidos en el fruto antes de cosecharlo.]

Uno de los cambios más obvios es la suavización de la textura. Esto está relacionado con la solubilización y despolimerización de las sustancias pécticas. La protopectina es solubilizada por acción enzimática. Las pectinas insolubles son modificadas y despolimerizadas por la acción de dos tipos diferentes de enzimas. Las pectinesterasas desesterifican los ésteres metilo liberando los grupos carboxilos de los residuos de ácido galacturónico y las poligalacturonasas rompen las cadenas poligalacturónicas en unidades más pequeñas y posiblemente en ácido galacturónico. Estos cambios en los materiales pécticos están relacionados con la respiración. Todos los factores que afectan el punto climactérico de un fruto tienen un efecto similar en las transformaciones de las sustancias pécticas. Parte del aumento que ocurre en la producción de proteínas durante el punto climactérico se debe a la elaboración de enzimas pécticas que llevan a cabo estas reacciones.

El mayor cambio en compuestos nitrogenados es en el equilibrio entre el nitrógeno proteico y el no proteico. La formación de las nuevas proteínas durante este período se realiza a expensas de los aminoácidos libres presentes. Durante el envejecimiento este proceso es invertido, presentándose una degradación progresiva de las proteínas tisulares con el consecuente aumento en aminoácidos libres.

La alteración en el color de un fruto es el cambio más obvio que se presenta en la maduración. Esto va relacionado con la síntesis de algunos pigmentos. La degradación de la clorofila contribuye grandemente a estos cambios. Los pigmentos carotenoides generalmente se encuentran enmascarados por la clorofila y normalmente ya están presentes antes de que ésta desaparezca.

Durante la respiración normalmente se forman compuestos volátiles (ésteres, aldehídos, alcoholes, cetonas, terpenos, etc) que con-

tribuyen al sabor característico del fruto. La producción de estos compuestos normalmente comienza durante la etapa climacterica y continúa durante el envejecimiento. Además de contribuir para el sabor, estas sustancias pueden tener efectos indeseables en la fruta almacenada.

Algunos compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides son los responsables del sabor astringente de la fruta inmadura. Durante la maduración el contenido de sustancia flavonoides disminuye, lo que ayuda a endulzar el sabor.

Estudios realizados sobre el fruto Psidium guajava.

Sastrý (33) realizó un estudio para conocer los cambios físicos por los que pasa la guayaba en su desarrollo. Obtuvo los siguientes resultados:

Edad (días)	Volumen ( ml )	Peso ( g )	Vel. incremento peso fresco cada mes ( g/día )	Notas
30	27.55	29.20	0.97	Fruto duro, verde oscuro, semillas suaves, astringente
60	30.19	43.99	0.49	Cáscara dura, verde oscura, semillas más duras, astringente
90	78.55	80.63	1.22	Verde oscuro, astringente ligeramente agrio, sin sabor
120	128.10	138.30	1.92	Verde claro, astringente en la capa externa, pulpa interna dulce con ligero sabor ácido, ligero sabor a guayaba
150	209.90	218.50	3.66	Color amarillento, dulce, ligera astringencia en la cáscara, sabor característico de guayaba
160	210.10	219.10	0.02	Sobremaduro

En la figura No. 1 se pueden observar los cambios en peso y volumen. La curva presenta tres estados de desarrollo del fruto.

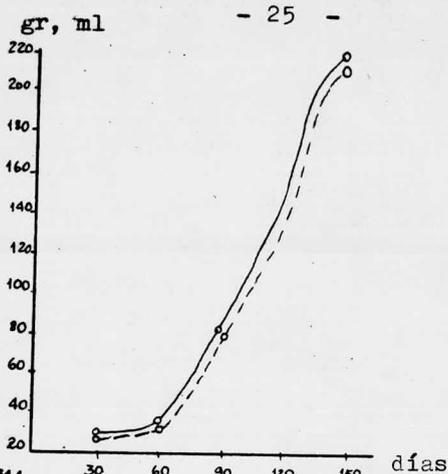


Fig. 1  
 Peso y volumen del  
 fruto en desarrollo  
 peso ———  
 volumen - - - -

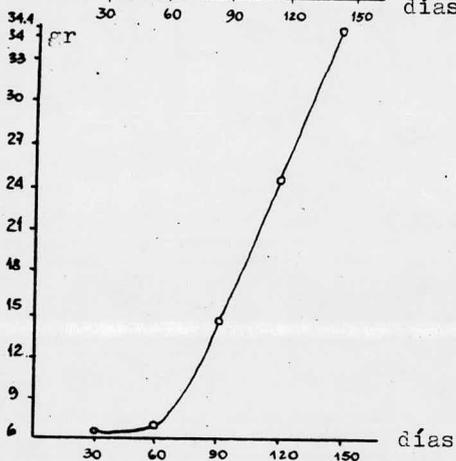


Fig. 2  
 Materia seca

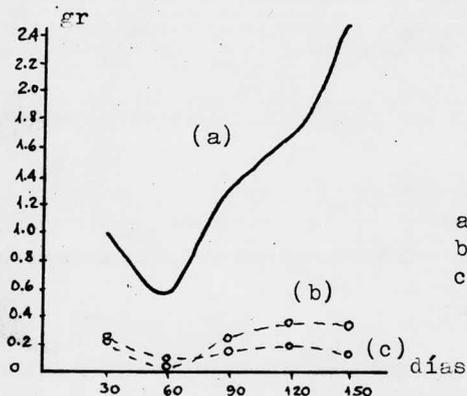


Fig. 3  
 Velocidad de aumento  
 de peso fresco, peso  
 seco y razón entre  
 ellos.  
 a) vel. aumento peso fresco  
 b) vel. aumento peso seco  
 c) razón entre materia  
 seca y materia fresca

El primer estado comprende 60 días, prácticamente sin ningún aumento en peso y volumen. Este será el estado temprano o juvenil. El segundo período consta de 90 días de crecimiento hasta alcanzar madurez, seguido de la tercera etapa de maduración.

Los cambios en el material seco se muestran en la figura No. 2. Se puede observar que la forma en que varía el peso fresco es similar a la variación en peso seco. Sin embargo en la última etapa (120-150 días) no se observa la misma tendencia. Mientras la velocidad de aumento del peso seco se mantiene constante en este período, el peso fresco continúa aumentando. Esto se debe a que el fruto asimila mayor cantidad de agua que de materia seca los últimos 30 días de su desarrollo en el árbol. Esto puede verse también en el aumento de humedad en la última etapa.

En la figura No. 3 pueden compararse la velocidad de incremento del peso fresco y del peso seco. La relación entre el aumento de peso seco y el incremento de peso fresco puede representar la concentración de los sólidos totales en el jugo del fruto. Puede considerarse también como la relación entre la velocidad de asimilación de sólidos y la asimilación total.

Según estas curvas la vida del fruto presenta 5 etapas distintas: a. Hasta los 60 días; b. 60-90 días; c. 90-120 días; d. 120-150 días; e. la fase de maduración y envejecimiento fuera del árbol.

Aumento de materia seca durante el desarrollo del fruto.

Edad (días)	Humedad (g)	Materia seca (g)	Vel. aumento materia seca (g/día)	l
30	22.64	6.56	0.22	0.23
60	30.07	6.92	0.01	0.02
90	63.35	14.28	0.25	0.20
120	114.00	24.31	0.33	0.17
150	184.10	34.41	0.33	0.12

l: asimilación de sólidos/asimilación total

Chaturvedi (10) realizó estudios sobre los cambios químicos que se llevan a cabo durante el desarrollo del fruto Psidium guajava. En la siguiente tabla se pueden observar los cambios metabólicos que sufrió el fruto desde el principio de su desarrollo hasta su maduración final:

A	B	C	D	E	F	G	H	Notas
Julio 15 1973	0.67	0.07	0.43	0.36	0.07	0.07	26.89	Temprano, verde oscuro y textura dura
Julio 25 1973	0.65	0.09	0.45	0.37	0.08	0.09	26.62	"
Ago 7 1973	0.51	0.16	2.76	1.85	0.92	0.32	22.00	Creciendo, verde textura dura
Ago 17 1973	0.44	0.17	3.00	2.10	0.91	0.34	20.00	Creciendo, brillante y verde claro textura suave
Ago 30 1973	0.38	0.11	3.00	2.00	1.01	0.32	17.45	Creciendo, verde amarillento, textura suave
Sept. 10 1973	0.36	0.04	3.51	2.40	1.11	0.26	15.00	Maduro, amarillo textura harinosa
Sept. 15 1973	0.36	0.02	3.26	1.50	1.76	0.26	11.62	"

Concentraciones de los sustratos en diferentes etapas del fruto :

- A: Diferentes colectas de un mismo árbol
- B: Proteína
- C: Almidón
- D: Azúcares totales
- E: Azúcares reductores
- F: Sacarosa
- G: Acidez titulable
- H: Residuo insoluble en alcohol

Peso fresco y porcentaje de humedad en las diferentes etapas del desarrollo del fruto.

Fechas de colecta	Peso fresco (promedio de 25 frutos)	Porcentaje de humedad de la pulpa
Julio 15, 1973	18g	40
Julio 25, 1973	24g	46
Agosto 7, 1973	50g	68
Agosto 17, 1973	60g	72
Agosto 30, 1973	80g	79
Sent. 10, 1973	97g	84
Sent. 15, 1973	98g	84

Porcentaje promedio de las concentraciones de los substratos en las diferentes etapas.

Diferentes substratos	A	B	C	D
Proteína	0.66	0.48	0.38	0.35
Almidón	0.08	0.16	0.08	0.02
Azúcares totales	0.44	2.88	3.26	3.26
Azúcares reduc.	0.36	1.96	2.20	1.50
Sacarosa	0.08	0.92	1.10	1.76
Acidez titulable (ácido cítrico)	0.08	0.32	0.28	0.26
Residuo insoluble en alcohol	26.79	21.50	16.24	11.62

A: Etapa temprana

B: Etapa de crecimiento

C: Etapa madura

D: Etapa de maduración

Los diferentes estadios de desarrollo presentaron tanto cambios morfológicos como en las características bioquímicas del fruto. En un periodo de 62 días aumento 6 veces su peso fresco y duplicó el contenido de humedad. Se puede observar que en la primera etapa el fruto presenta un gran contenido de proteína. El almidón sólo existe en muy pequeñas cantidades mientras que los azúcares reductores están presentes en gran cantidad. Hay trazas de acidez libre y 27% de residuo insoluble en alcohol. Con estos sustratos el fruto entra en una etapa de rápido crecimiento. En esta etapa el contenido de proteína disminuye en un 33%, mientras que los otros sustratos aumentan considerablemente. El almidón y los azúcares aumentan de 6 a 7 veces su valor original. En el estado maduro los valores de los azúcares totales y reductores se mantienen, mientras que el contenido proteico sigue disminuyendo. En este momento el contenido de almidón disminuye, mientras que el contenido de sacarosa aumenta.

En estos datos se puede observar la variación de los sustratos en las diferentes etapas por las que pasa el fruto en su desarrollo.

En otras investigaciones Harvey (18) identificaron y determinaron los diferentes azúcares presentes en la guayaba:

Azúcar	%
Fructosa	3.43
D-Glucosa	2.08
Sacarosa	0.31
Total	5.82

La guayaba, siendo un producto 100% comestible y con un poder calorífico de 51 kcal/100g, presenta además otras sustancias nutritivas:

Sustancias Minerales	{	Minerales	0.70 g/100g
		Humedad	81.70 g/100g
		Azufre	14.00 mg/100g
		Calcio	10.00 mg/100g
		Cloro	4.00 mg/100g
		Cobre	0.34 mg/100g
		Fierro	1.40 mg/100g
		Fósforo	28.00 mg/100g
		Magnesio	8.00 mg/100g
		Potasio	91.00 mg/100g
Sodio	5.50 mg/100g		
Sustancias Orgánicas	{	Carbohidratos	11.20 g/100g
		Proteína	0.90 g/100g
		Lípidos	0.30 g/100g
		Nitrógeno total	0.14 g/100g
		Aminoácidos esenciales (3)	
		Lisina	0.19 g/g de N
		Triptofano	0.06 g/g de N
		Metionina	0.06 g/g de N
Vitaminas	{	Acido oxálico	14.00 mg/100g
		Fitín-fosfato	15.00 mg/100g
		Tiamina (Vit B <sub>1</sub> )	0.03 mg/100g
		Riboflavina (Vit B <sub>2</sub> )	0.03 mg/100g
		Acido ascórbico (Vit C)	212.00 mg/100g
		Niacina	0.40 mg/100g

La guayaba es una fuente muy importante de ácido ascórbico. Mustard (26) realizó estudios sobre el contenido de vitamina C en este fruto tomando en cuenta diversos factores como son el grado de madurez, la parte del fruto de que se trata y las diferentes variedades.

Desde hace mucho tiempo se sabe que el ácido ascórbico no se encuentra distribuido en forma uniforme en todo el fruto. En los experimentos realizados se obtuvieron los siguientes resultados:

Sección del fruto analizada	No. de análisis	Promedio mg/100gm
Cáscara	5	1092.0
Carne externa	5	588.8
Carne interna y semillas	5	405.1

Para observar el efecto del estado de madurez sobre el contenido de ácido ascórbico Mustard trabajó con dos tipos diferentes de guayaba del sur de Florida, el tipo Redland y el tipo Stone. Debido a las diferencias en la distribución del ácido en el fruto se tomó como muestra representativa una rebanada del fruto hecha longitudinalmente, incluyendo cáscara, carne externa y parte central con semillas. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Contenido de ácido ascórbico de algunas guayabas cosechadas y examinadas en diferentes estados de madurez.

Estado de madurez al cosechar y examinar	No. de Análisis	Promedio mg/100g
<b>Redland</b>		
Pequeñas verdes, examinadas en ese estado	5	33.3
Grandes verdes, examinadas en ese estado	5	20.6
Grandes verdes, se dejaron madurar	3	18.7
Maduras firmes, examinadas en ese estado	5	24.7
Sobremaduras, examinadas en ese estado	5	27.0
<b>Stone</b>		
Pequeñas verdes, examinadas en ese estado	5	147.2
Grandes verdes, examinadas en ese estado	5	142.1
Grandes verdes, se dejaron madurar	3	172.8
Maduras firmes, examinadas en este estado	5	143.0
Sobremaduras., examinadas en ese estado	5	152.2

Se encontró considerablemente mayor cantidad de ácido ascórbico

en las guayabas Nédland cosechadas cuando pequeñas y verdes que en las recolectadas en cualquier otro estado de madurez. Los frutos sobremaduros de esta variedad también contenían mayor cantidad de vitamina que el grupo de las guayabas verdes y grandes. Entre las guayabas Stone no se encontraron grandes diferencias. Sin embargo es interesante notar que los frutos examinados inmediatamente después de cosechar siguieron una tendencia semejante en ambos grupos; o sea, que los frutos verdes pequeños y los sobremaduros contenían más ácido ascórbico que las guayabas grandes verdes y las maduras firmes de una misma variedad.

Al examinar guayabas de Hawaii Miller (24) vio que contenían mayor cantidad de ácido ascórbico cuando estaban medio maduras que cuando maduraban totalmente. Se puede observar que los experimentos no concuerdan totalmente. Para llegar a una conclusión final habrá que realizar experimentos más extensos.

Por medio de otros estudios Mustard (26) llegó a la conclusión de que no existe relación entre el color de la carne del fruto y el contenido de ácido ascórbico. Sin embargo en el experimento no se tomó un número representativo de cada color de fruto, por lo que los resultados no son del todo determinantes.

Misra y otros (25) estudiaron los polifenoles presentes en la guayaba y que pueden ser los responsables del sabor astringente del fruto, especialmente en su estado inmaduro. Examinaron el jugo y la pulpa por separado. En frutos jóvenes inmaduros se encontró una cantidad considerable de oxalatos, tanto solubles como insolubles en agua, una pequeña cantidad de proteína, pero no se hallaron polifenoles. Se hicieron varias extracciones con diversos solventes hasta obtener un extracto remanente que contenía principalmente el éster de algún azúcar junto con pectina y azúcares libres.

Por diferentes pruebas se vió que el éster estaba constituido por ácido hexahidroxidifénico y arabinosa.

En los frutos que se encontraban a la mitad de su desarrollo (6 semanas) el jugo casi no contenía oxalatos. Contenía pequeñas cantidades de cloruros y sulfato de sodio y potasio y azúcares libres en mayor cantidad, como glucosa, maltosa y arabinosa. En el extracto de la pulpa se halló una cantidad mucho menor del éster. Esto, junto con la presencia de arabinosa libre, indica que durante la maduración el éster del azúcar probablemente no es sintetizado. En el jugo de frutos maduros se encontró una cantidad insignificante de oxalatos, pero más azúcares libres. Tanto la pulpa como la cáscara y las semillas de frutos maduros no presentaron este éster. De aquí se concluye que el éster arabinoso del hexahidroxidifénico aparentemente es hidroligado durante la maduración del fruto, eliminando el sabor astringente del producto.

Efecto de sustancias reguladoras del crecimiento sobre el desarrollo de la guayaba.

Entre las sustancias que se utilizan para regular el desarrollo de ciertos frutos se encuentran el ácido 2,4 diclorofenoxiacético, el ácido 2,4,5 triclorofenoxiacético, el ácido naftalenacético y el ácido paraclorofenoxiacético. En la mayoría de los frutos estas sustancias actúan aumentando la velocidad de respiración y estimulando la maduración. Sin embargo se ha visto que en los frutos cítricos tienen un efecto depresor sobre los cambios de post-cosecha. En los frutos climactéricos aumentan el pico de la respiración. Este efecto es diferente al que tiene el etileno, el cual causa tan sólo un corrimiento en la escala del tiempo.

La guayaba es un fruto que se deteriora fácilmente al ser transportado largas distancias. Teotia y Singh (47) estudiaron el efecto que tienen algunas sustancias reguladoras del crecimiento sobre la maduración y la calidad de esta fruta, tratando de evitar su deterioración durante su transporte y almacenamiento. Los experimentos se hicieron en guayabos de la variedad Allahabad Safeda cultivados bajo condiciones uniformes. Las sustancias químicas que se probaron fueron: ácido naftalenacético (ANA), ácido giberélico (AG) y ácido 2,4,5 triclorofenoxipropiónico (2,4,5 TP) en concentraciones de 50, 100 y 200ppm. Los frutos se rociaron veinte días antes de su maduración. Se tomó el tiempo de maduración de cada uno y se determinaron sólidos totales solubles (STS), acidez (ácido cítrico), azúcares totales y reductores y el contenido de ácido ascórbico. Al año siguiente se repitió el experimento rociando los frutos 35 días antes de su maduración.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Peso promedio de los frutos bajo diferentes tratamientos.

	ANA (ppm)			2,4,5-TP(ppm)			AG (ppm)			Control	
	50	100	200	50	100	200	50	100	200		
1966	g	106.0	114.1	120.0	95.2	113.0	112.8	160.0	170.0	178.0	85.2
1967	g	50.0	70.0	61.2	54.0	58.2	90.0	114.8	118.2	138.0	49.6

Constituyentes químicos de la guayaba bajo diferentes tratamientos.

Hormonas	Conc. ppm	A		B		C		D	
		1966	1967	1966	1967	1966	1967	1966	1967
ANA	50	17.6	17.8	8.8	9.6	0.26	0.26	464.8	368.7
	100	16.0	16.2	8.5	8.1	0.26	0.23	349.8	360.0
	200	13.1	15.9	7.2	8.4	0.21	0.20	346.9	356.0
2,4,5-TP	50	13.7	13.3	6.1	7.5	0.28	0.24	375.0	385.0
	100	13.4	14.1	7.2	7.6	0.29	0.24	378.5	390.0
	200	16.1	16.2	8.1	8.3	0.27	0.23	385.6	391.5
A.G.	50	15.5	14.8	8.2	7.6	0.24	0.27	345.0	350.5
	100	16.5	16.6	8.2	8.3	0.28	0.28	342.0	348.9
	200	13.4	15.2	8.1	8.0	0.21	0.28	340.0	347.8
Control		11.8	13.0	6.0	6.3	0.21	0.22	340.0	350.8

A: Porcentaje de sólidos solubles totales

B: Porcentaje de azúcares totales

C: Porcentaje de acidez

D: Acido ascórbico en mg/100g de pulpa de fruta

Los frutos tratados con ANA y AG aumentaron en peso comparados con el control, y este aumento fue mayor al incrementar las concentraciones de las hormonas. El tratamiento con ANA y 2,4,5-TP también aumentó los sólidos totales solubles y los azúcares del fruto.

Sin embargo el rociar con AG no mostró ningún mejoramiento en las características del jugo. Hubo un aumento en acidez y en contenido de ácido cítrico en frutos tratados con ANA y 2,4,5-TP. Sin embargo la acidez no afectó el sabor del fruto. También se observó que al aumentar las concentraciones de 2,4,5TP los frutos desarrollaban un tinte rojizo. Los productos tratados con 2,4,5-TP aceleran su maduración de 5 a 7 días; mientras que el AG retardó la maduración casi una semana comparado con el efecto del 2,4,5-TP.

Capítulo II

## Microbiología.

Todos los alimentos vegetales frescos , como las frutas y las verduras, envejecen y pierden su aceptabilidad una vez que han sido separados de la planta madre. La causa más importante de la descomposición de la fruta es la actividad de los microorganismos. Este ataque puede ocurrir en cualquier etapa de la vida del fruto, desde el desarrollo de la planta en el campo hasta el período final de almacenamiento en casa.

Cada cosecha puede ser atacada por organismos causantes de enfermedades, siendo dichos organismos específicos de cada planta. Algunas de estas enfermedades, si no se combaten efectivamente, pueden arruinar la cosecha y los frutos no llegan al mercado. Sin embargo existen casos en que, aunque la infección inicial ocurre durante el desarrollo de la planta, el organismo permanece inactivo o latente en un principio y sólo presenta síntomas de enfermedad cuando el tejido del huésped alcanza cierto grado de madurez, durante el período de post-cosecha. Los organismos responsables de enfermedades vegetales bien definidas son considerados verdaderos patógenos, ya que son capaces de invadir tejidos perfectamente sanos para desarrollarse a expensas del huésped. A medida que los tejidos van envejeciendo y que la integridad de las membranas celulares se va perdiendo se facilita el acceso de los microorganismos y su establecimiento, al sustraer los nutrientes necesarios del huésped. Al morir los tejidos la resistencia a invaciones se pierde totalmente. En esta última etapa la actividad de los microorganismos se considera saprofítica, ya no parasítica. Aunque las diferencias en estructura y composición siguen limitando las formas

que pueden desarrollar en el tejido muerto, el rango de las mismas se extiende para incluir organismos de descomposición en general, algunos de los cuales son menos específicos con respecto a la naturaleza del sustrato.

La competencia entre las diferentes bacterias, levaduras y hongos de un alimento va a determinar el tipo de microorganismo que predominará en la descomposición de éste. Si las condiciones son favorables para todo tipo de microorganismos, las bacterias en general se desarrollan más rápidamente que las levaduras y éstas más rápidamente que los hongos. Normalmente desarrollará un solo tipo de microorganismo causando la descomposición. No siempre los microorganismos son antagónicos entre sí. Algunas veces establecen asociaciones simbióticas, ayudándose mutuamente a desarrollar. El sinerjismo es el fenómeno por el cual dos microorganismos al crecer juntos llevan a cabo funciones ( por ejemplo fermentaciones) que por sí solos no realizarían.

El efecto más importante que puede tener un microorganismo sobre otro es el metabiótico, que se presenta cuando un microorganismo transforma al medio en condiciones favorables para el crecimiento de un segundo tipo de microorganismo.

Los factores más determinantes en el desarrollo microbiano en un fruto son: las propiedades químicas y físicas del mismo, la disponibilidad de oxígeno y la temperatura.

El agua de un alimento, su localización y disponibilidad es uno de los factores más importantes. Puede considerarse que el agua desempeña dos papeles, como compuesto químico necesario para el crecimiento y como parte de la estructura física del tejido alimenticio. Todos los microorganismos requieren humedad para desarrollarse. Es muy importante que ésta esté disponible, o sea, que no se

encuentre unida a solutos o a compuestos hidrofílicos coloidales como el agar. Es posible que algún organismo al desarrollar en el alimento cambie el nivel de agua disponible, ya sea liberando agua metabólica o bien alterando el sustrato en tal forma que libere agua. La destrucción de los tejidos que mantienen la humedad, como sucede en los frutos cuando actúan los hongos, puede proporcionar el agua que requieren bacterias y levaduras.

El congelamiento no sólo frena el crecimiento microbiano, sino que también daña los tejidos, en tal forma que al descongelarse el producto se liberan jugos que favorecen el desarrollo de microbios. Al congelar se aumenta la concentración de solutos en los lugares no congelados disminuyendo el crecimiento microbiano.

En los procesos de calentamiento no sólo se altera la composición química del producto, sino también su estructura, ya que se aflojan los tejidos, liberando o acaparando la humedad, destruyendo o formando suspensiones coloidales, geles o emulsiones alterando la cantidad de oxígeno y de agua captada por el alimento.

La composición química del fruto va a ser determinante en el tipo de microorganismos que puedan desarrollar. El complejo enzimático de cada microorganismo determinará los sustratos que pueda utilizar tanto para obtener su energía (celulosa, azúcares, ácidos grasos, proteínas) como para crecer (compuestos nitrogenados), así como los factores de crecimiento requeridos para su desarrollo (vitaminas). Así, algunas bacterias y muchos hongos son capaces de hidrolizar pectina, lo que es importante en el ablandamiento y descomposición de los frutos.

La concentración de hidrogeniones o pH determinan el tipo de organismos que puede desarrollar en él. Es por esto que en la descomposición de la guayaba participan principalmente hongos, capaces

de desarrollar a la acidez que presenta el fruto.

La presión parcial de oxígeno que rodea al alimento y el potencial de óxido-reducción de éste afectan grandemente en el tipo de organismo que puede desarrollar en él.

Un alto potencial de óxido-reducción favorece el desarrollo de aerobios y el de organismos facultativos; un potencial reductor favorece a organismos anaerobios y a facultativos. La mayoría de los frutos presentan un potencial de óxido-reducción bajo y bien equilibrado en su interior, ya que contienen sustancias reductoras como ácido ascórbico y azúcares reductores. Mientras las células del fruto respiren y se mantengan activas tenderán a equilibrar el sistema de óxido-reducción a un nivel bajo, resistiendo el efecto que pueda causar el oxígeno que se difunde hacia el interior. Por lo tanto un fruto íntegro presentará condiciones aeróbicas sólo en y cerca de la superficie. El calentamiento puede reducir la capacidad de equilibrio del alimento destruyendo las sustancias reductoras y permitiendo la difusión del oxígeno hacia el interior del producto. El procesamiento puede eliminar las sustancias equilibradoras; así, los jugos claros de frutos han perdido las sustancias reductoras durante la extracción y filtración, por lo que pueden favorecer más el desarrollo de levaduras, que el jugo que contenía la pulpa.

Cualquier alimento puede descomponerse al pasar el tiempo si existe humedad suficiente disponible. A temperaturas entre  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$  existe la posibilidad de una descomposición.

La mayoría de los hongos y levaduras no crecen a temperaturas superiores de  $35$  a  $37^{\circ}\text{C}$ , por lo que no tendrán importancia para alimentos almacenados a temperaturas altas. Por otro lado hongos y levaduras crecen bien a temperatura ambiente, algunos a tempera-

turas bajas y otros desarrollan hasta en congelación. La mayoría de las bacterias crecen a temperatura ambiente, aunque existen algunas termofílicas y psicofílicas.

Además debe tomarse en cuenta que la temperatura a la que se almacena el fruto puede acelerar su propia descomposición y por lo mismo aumentar su susceptibilidad a ser deteriorado por microorganismos. Así, si se almacenan a temperaturas no adecuadas, los frutos se ablandan propiciando su degradación.

El medio ambiente de cultivo es extremadamente rico en microorganismos. El suelo contiene gran variedad de formas, mientras que la vegetación y cualquier material vegetal muerto o decadente genera otra gran cantidad de especies. Es por ésto que las partes externas de la planta se contaminan fácilmente, siendo los órganos subterráneos y cercanos al suelo ricos en especies originarias del mismo, mientras que los frutos procedentes de árboles se contaminan con esporas provenientes de infecciones de la vegetación circundante. Bajo condiciones adecuadas para su desarrollo estos organismos pueden o no penetrar el órgano atravesando las capas protectoras del mismo. La ruta más común de entrada a estructuras intactas es através de orificios naturales como los estomas y las lenticelas; pero algunas especies parecen ser capaces de atravesar directamente la cutícula, especialmente cuando ésta está aún delgada durante el principio del desarrollo. Algunos organismos como las especies de Diplodia, responsables de putrefacciones del raballo en varios frutos, entran através de la terminación del cáliz durante la etapa de floración.

La exposición directa de los tejidos internos facilita la entrada de los microorganismos. Esto puede presentarse en cortes hechos durante la cosecha o en algún daño mecánico inintencional.

Samish (31) ha demostrado la presencia de bacterias en tejidos normales y sanos de fruta fresca. En su mayoría son bacilos móviles Gram-negativos, representantes de las familias Pseudomonadaceae y Enterobacteriaceae. En la superficie de las cosechas se encuentran bacterias productoras de ácido láctico. Parece ser que estos microorganismos provienen de la microflora del suelo. Su presencia no está asociada con ningún tipo de descomposición del fruto. Es claro que no todos los microorganismos capaces de penetrar en el fruto van a causar la descomposición del mismo, siempre y cuando los tejidos se encuentren sanos.

Una característica que presentan la mayoría de los organismos causantes de la descomposición de frutos, tanto hongos como bacterias, es que secretan enzimas pectinolíticas, las cuales al ablandar y degradar los tejidos vegetales, facilitan la diseminación del microorganismo en el huésped. En muchos casos la velocidad de propagación depende mucho del estado fisiológico de los tejidos del huésped y puede haber un retraso considerable entre la infección inicial y la aparición de una descomposición visible. El tejido sano puede ser capaz de metabolizar las enzimas secretadas por los microorganismos invasores, como sucede en el caso de infecciones causadas por Gloesporium.

Estudios realizados en el fruto del guayabo.

La guayaba, como el resto de los frutos, es susceptible a un número de enfermedades tanto durante su cultivo como durante el transporte y almacenamiento. Gran parte de las investigaciones que existen a este respecto han sido realizadas en India. Los microorganismos causantes de la descomposición de este fruto pueden ser similares en México. Sin embargo hay que tomar en cuenta todos los factores antes mencionados y que son determinantes en el desarrollo de estos agentes, para poder comparar las diferentes formas que pueden desarrollar en el cultivo de guayabo en México.

Las siguientes enfermedades fueron observadas en la guayaba durante los períodos de cultivo y post-cosecha:

Antracnosis :

Síntomas: En la superficie de los frutos se producen lesiones pequeñas, poco profundas, empapadas en agua. Estas lesiones crecen y se hunden con el tiempo. Después se unen para formar manchas más grandes, de forma y tamaño irregular y bajo condiciones adecuadas de humedad en el centro se ven masas de esporas color salmón.

Organismo causante: Gloeosporium psidii Delacr.

Descomposición por Botryodiplodia:

Síntomas: La infección se inicia como una decoloración café en la parte terminal del tallo y gradualmente procede hacia abajo de una manera irregular formando ondas. Finalmente en todo el fruto se puede desarrollar una putrefacción suave de tipo acuoso. En etapas más avanzadas numerosos picnidios pequeños se producen en la superficie de la fruta.

Organismo causante: Botryodiplodia theobromae Pat.

Cancro de fruta o putrefacción por Pestalotia:

Síntomas: La enfermedad comienza con una decoloración café que en una semana se transforma en color bermejo. Al crecer las manchas el centro de la región se va hundiéndose ligeramente. Posteriormente aparecen acérvulos diminutos presentando una masa viscosa de esporas. En frutos parcialmente podridos el límite del tejido infectado aparece de color semejante a piel de ante ocre. El hongo produce gran cantidad de micelio tanto en el huésped como en cultivo. Los micelios son negros y circulares, con miceliosporas pentacelulares.

Organismo causante: Pestalotia psidii Pat.

Putrefacción por Phomopsis:

Síntomas: La enfermedad comienza con una lesión circular en la terminación del tallo. Al avanzar la putrefacción aparecen en la región infectada micelios color blanco o café claro. Muchas veces se encuentran muy cercanos y descargan masas de esporas.

Organismo causante: Phomopsis psidii de Camara.

Podredumbre Phoma:

Síntomas: Se produce una mancha sobre la superficie de la fruta. El centro se va hundiendo gradualmente, permaneciendo el margen periférico ligeramente elevado con un escaso crecimiento de hongos. Aparecen diminutos micelios que exudan miceliosporas de color crema.

Organismo causante: Phoma psidii P. Henn.

Podredumbre por Rhizopus:

Síntomas: Las lesiones generalmente son circulares y sumergidas en arca. Al avanzar la podredumbre las áreas afectadas son cubiertas

por un ramal de toscos micelio. La descomposición causada es suave y acuosa.

Organismo causante: Rhizopus nigricans Ehr.

Podredumbre madura:

Síntomas: Las primeras indicaciones de la enfermedad son pequeñas manchas hundidas de color café, circulares, suaves y decadentes, las cuales al madurar se cubren de acérvulos que contienen una abultada masa rosa de conidiosporas. Los peritecios son estructuras redondas negras, sin paráfisis. Las ascas contienen 8 ascosporas hialinas unicelulares.

Organismo causante: Glomerella cingulata Ston.

Dieback:

Síntomas: Se presentan áreas descoloridas en las ramas, rupturas longitudinales, la rama se seca y torna café y muere. En casos severos se desarrollan úlceras en las partes leñosas de la planta, que pueden llegar a afectar toda la planta.

El hongo presenta un micelio hialino y café, ramificado, septado e intercelular. Los picnidios son negros y embebidos superficialmente en la corteza exterior. Las conidias son entre hialinas y coloreadas, continuas o monoseptadas. Los peritecios son negros y las ascosporas hialinas.

Organismo causante: Physalospora psidii Stev.

Herrumbre:

Síntomas: En las hojas afectadas aparecen manchas amarillas que se tornan canela obscuro, con una delineación pequeña y circular o irregular. El hongo presenta urosporas pálidas, ovaladas o elipsoidales y teliosporas bicelulares.

Organismo causante: Puccinia psidii Wint

Añublo en hilo:

Síntomas: La enfermedad se detecta primero en el follaje muerto del año anterior. Las hojas muertas se encuentran suspendidas por fuertes hilos de micelio café, que crecen a lo largo de la parte inferior de la rama. Al alargarse estos hilos llegan hasta los peciolos de las hojas y los pedúnculos de la fruta, en donde se abren sobre la hoja, penetran la epidermis y el parénquima y matan al tejido. Las hojas caen, pero algunas veces permanecen suspendidas.

El hongo produce basidiosporas hialinas, ovaladas o elongadas. Presenta esclerotias localizadas sobre una lenticela o agregadas alrededor de botones terminales. Allí sobreviven la etapa latente y generan micelio cuando el huésped vuelve a desarrollarse.

Organismo causante: Ceratobasidium stevensii Venkat

Putrefacción de raíz por una seta:

Síntomas: En árboles jóvenes el deterioro es muy rápido. En el transcurso de pocas semanas el árbol puede presentar falta de vigor; el follaje se amarilla y marchita. Generalmente este tipo de planta se encuentra condenada, pues el hongo ha desarrollado un cinturón y va matando el cambium en las raíces más grandes o en el tronco principal de la copa o cerca de la línea del suelo. Cortando la corteza del árbol se puede ver en el área del cambium las ramas de micelio blanco y las placas del hongo. Se pueden encontrar esporóforos de 4 a 6 pulgadas de ancho por 6 pulgadas de altura, color miel laminados. Las basidiosporas son hialinas, unicelulares y ovaladas.

Organismo causante: Clitocybe tabescens Bres.

Marchitamiento:

Síntomas: El follaje se marchita y oscurece. Si continúa la enfermedad puede llegar a matar a la planta. Al quitar la corteza se puede observar una coloración más oscura que se extiende hacia el cambium, en donde se forman rayas café. En cultivo el hongo presenta micelio hialino o blanco, macroconidias hialinas y clamidosporas.

Organismo causante: Fusarium oxysporum f. psidii.

Hoja manchada:

Síntomas: En la superficie inferior de las hojas aparecen manchas oscuras, color humo, no bien delimitadas. El hongo presenta conidiosporas con conidias tri o pentasetasas.

Organismo causante: Cercospora sawadae Yamamoto

Mancha tipo alga:

El microorganismo produce pequeñas manchas circulares, de color café rojizo a nírcura. Pueden presentarse en la frutana en hojas e en las venas. En las manchas aparecen fructificaciones como diminutos pelos blancos con la parte superior amarilla. El hongo aparece como un simple epífite o parásito, desarrollándose en la superficie de las hojas y penetrando en ellas. El organismo desarrolla vellocidades formadas por finos filamentos que llevan en sus terminaciones esterigmias cortos y cuernos amarillos que presentan los esporangios en la parte terminal de cada uno. En presencia de humedad suficiente se producen zoosporas, las cuales una vez maduras escapan por pequeñas aberturas y nadan por medio de dos cilios.

Organismo causante: Cephaleuros virescens Kunze.

Podredumbre seca:

Síntomas: Aparecen manchas color café claro en las terminaciones del tallo o del cáliz de los frutos. La infección se disemina rá-

pidamente afectando en 3 o 4 días a todo el fruto. Los frutos jóvenes o maduros completamente infectados se tornan café obscuro y se secan. En la cáscara de los frutos secos aparecen numerosos picnidios en forma de cabezas de alfileres. Las picnidiosporas al principio son hialinas, rectangulares y unicelulares. Al madurar se tornan elípticas, bicelulares, de color café obscuro y presentan estrías longitudinales en la pared.

Organismo causante: Diplodia natalensis

#### Dieback:

Esta enfermedad también puede ser causada por Mendersonula toruloidea. El hongo presenta hifas septadas de color hialino, que toman un color gris u oliva, irregularmente ramificadas. Las conidias, como talosporas o artrosporas, son de color oliva o café, unicelulares. También presenta picnidios que se desarrollan en las ramas del guayabo después de 90 días. Las esporas en un principio son hialinas y asentadas, pero luego se tornan oscuras y bisetadas.

#### Enfermedad de agalla:

El insecto Helopeltis antonii se alimenta picando el fruto del guayabo. Unas horas después de haber hecho la lesión en la fruta o en el tejido de las hojas, se desarrolla una mancha café que se va oscureciendo. La superficie de estas manchas se transforma en vejiga o ampolla dura y seca y a veces se rompe. Las lesiones son superficiales y a veces se unen formando áreas necróticas negras. Dos tipos de hongos se encuentran frecuentemente asociados con tejidos dañados por estos insectos: Colletotricum gloeosporioides y Pestalotia psidii.

Otros hongos relacionados con la guayaba.

<u>Alternaria tenuis</u>	Nees
<u>Armillaria mellea</u>	Vahl ex Fries
<u>Aspergillus niger</u>	van Tiegh
<u>Asterina osidii</u>	Ryan
<u>Candella osidii</u>	Ryan
<u>Cercosporina osidii</u>	Saccardo
<u>Curvularia lunata</u>	Boedjin
<u>Meliola osidii</u>	Fries
<u>Pestalotia disseminata</u>	Thuemen
<u>Phyllachora subcircinans</u>	Spesazzini
<u>Phyllosticta guajavae</u>	Viéras
<u>Phyllosticta osidii</u>	Tassi
<u>Phymatotrichum omnivorum</u>	Duggar
<u>Phytophthora parasitica</u>	Dastur

Infecciones reportadas en México.

<u>Microorganismo causante</u>	<u>Nombre de la enfermedad</u>	<u>Localización</u>
<u>Alternaria citri</u>	Pudrición del fruto	General
<u>Armillaria mellea</u>	Pudrición de raíz	Morelia
<u>Caprodium sp.</u>	Fumaginae	Gto., Mich.
<u>Cephalothecium sp.</u>	Mancha de la hoja	Aguascalientes
<u>Cercospora psidii</u>	Mancha de la hoja	Jalisco
<u>Clasterosporium sp.</u>	Mancha de hojas y ramas	Michoacán
<u>Colletotrichum gloeosporioides</u>	Antracnosis	General
<u>Diplodia sp.</u>	Pudrición 2a del fruto	Jalisco
<u>Glomerella cingulata</u>	Antracnosis	Aguascalientes
<u>Gloeosporium psidii</u>	Clavo	General
<u>Pestalozzia sp.</u>	Mancha de la hoja	General
<u>Phytophthora sp.</u>	Pudrición de raíz	Aguascalientes
<u>Sphaceloma sp.</u>	Roña de fruta	Gto., Jal., Mich.

Gto: Guanajuato

Jal: Jalisco

Mich: Michoacán

Entre los microorganismos antes mencionados se encuentran representantes de los cuatro grupos principales de hongos:

- |                |   |
|----------------|---|
| Ficomicetos    | { <u>Phytophthora parasítica</u><br><u>Rhizopus nigricans</u>   |
| Ascomicetos    | { <u>Aspergillus niger</u><br><u>Glomerella cingulata</u><br><u>Meliola psidii</u>  |
| Basidiomicetos | { <u>Armillaria mellea</u><br><u>Ceratobasidium stevensii</u><br><u>Puccinia psidii</u>   |
| Deuteromicetos | { <u>Alternaria tenuis</u><br><u>Cercospora psidii</u><br><u>Cercospora sawadae</u><br><u>Colletotrichum gloeosporioides</u><br><u>Diplodia natalensis</u><br><u>Fusarium oxysporum</u><br><u>Gloeosporium psidii</u><br><u>Pestalotia disseminata</u><br><u>Pestalotia psidii</u><br><u>Phoma psidii</u><br><u>Phomopsis psidii</u><br><u>Physalospora psidii</u><br><u>Phyllosticta guajavae</u><br><u>Phyllosticta psidii</u><br><u>Sphaceloma sp.</u> |

El valor de los frutos depende en gran parte de su calidad y de la concentración de sustancias nutritivas presentes. El desarrollo de los hongos que causan la descomposición de los frutos depende, en gran parte, de los productos de almacenamiento que se encuentran en los tejidos del huésped. Como resultado de la actividad metabólica de los microorganismos dentro de los tejidos del fruto se inducen un número de cambios químicos. El fenómeno que se lleva a cabo es muy complicado, pero el estudio de estos cambios puede dar información suficiente para entender el comportamiento de estos parásitos.

Para ejemplificar las alteraciones llevadas a cabo por un agente infeccioso en la guayaba, se tratarán dos casos que se han estudiado:

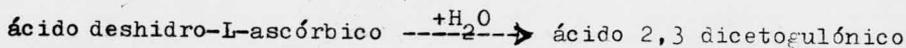
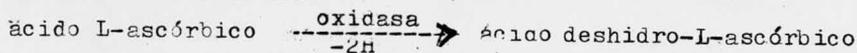
El primer caso trata de la influencia que tiene la infección de Botryodiplodia theobromae (antes conocida como Diplodia natalensis) en el contenido de ácido ascórbico en la guayaba. Este hongo causa serias pérdidas durante el período de post-cosecha. Se trabajaron dos variedades de guayaba: Safeda y Apple coloured. Ambas presentaban el mismo estado de madurez. Fueron inoculadas con un cultivo de B. theobromae. El contenido de ácido ascórbico fue determinado en el fruto inoculado y en el no inoculado o control, obteniéndose los siguientes resultados: (mg/100g de fruta fresca)

Días de incubación	Safeda		Color Manzana	
	Control	Inoculado	Control	Inoculado
0	305.2	305.2	372.2	372.2
2	296.0	250.0	349.5	298.0
4	282.5	177.5	317.5	200.0
6	260.5	92.0	276.0	195.5
8	230.0	30.5	238.0	69.5
10	203.5	-	222.0	39.5
12	190.0	-	200.0	-
A	33.3	100.0	40.3	89.2

En la tabla anterior el valor de ácido ascórbico está dado en mg/100g de pulpa de fruta; A= % de pérdida de ácido ascórbico después de 10 días de incubación.

Los resultados indican que al aumentar el período de incubación el contenido de ácido ascórbico va disminuyendo, tanto en la fruta sana como en la inoculada. Sin embargo la velocidad de disminución en la fruta sana es comparativamente menor.

Los detalles de las funciones fisiológicas del ácido ascórbico no están completamente claros, pero se cree que funciona como un sustancia biológica de óxido-reducción. Se sabe que el ácido L-ascórbico se oxida fácilmente a ácidos deshidro-L-ascórbico, por acción de la enzima ácido ascórbico oxidasa o por otras enzimas oxidantes como polifenoloxidasas, citocromooxidasas, peroxidasas, etc., según la siguiente reacción:



Se ha demostrado la presencia de una enzima oxidante específica para el ácido L-ascórbico en las esporas de Myrothecium verrucaria. Es probable que la disminución del contenido de este ácido en la guayaba se deba a la producción de ciertas enzimas que lo degradan, ya sea que éstas sean producidas por el hongo mismo o por la interacción huésped-parásito. La rápida disminución del ácido puede deberse también al aumento en la respiración de los tejidos infectados, lo que puede inducir una rápida oxidación de este compuesto.

Un aumento similar en la respiración bajo patógenosis es inducido por muchos hongos, especialmente por mohos de aspecto polvoso.

Singh y Tandon estudiaron los cambios causados por Aspergillus niger en el contenido de aminoácidos y ácidos orgánicos de la guayaba (40). Para estos estudios se inocularon frutos maduros con un cultivo puro de este microorganismo y el análisis de los tejidos sanos e infectados se llevó a cabo por cromatografía. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

Aminoácidos	Control	Infectado (microgramo/mg de tejido)
Leucina-isoleucina	73.00	34.62
Valina	62.50	62.50
ácido $\gamma$ aminobutírico	20.75	0.00
Tirosina	0.00	0.00
Prolina	166.66	0.00
$\alpha$ alanina	75.00	306.25
Acido glutámico	91.62	66.62
Treonina	0.00	118.37
Arginina	62.50	97.12
Acido aspártico	113.75	187.50
Serina-glicina	22.50	137.50
Glutamina	71.37	0.00
Histidina-lisina	0.00	0.00

Al parecer Aspergillus niger consume ácido  $\gamma$ aminobutírico, prolina y glutamina y produce treonina durante la patogénesis.

En la siguiente tabla se presentan los cambios en ácidos orgánicos:

Acido orgánico	Control	Infectado (mg/g de tejido)
Fumárico	0.00	0.5633
Succínico	0.00	0.00
Malónico	0.6375	1.1266
Málico	2.3150	2.4230
Cítrico	0.5225	1.6600
Acido no identificado	0.00	1.0266

En general el fruto infectado presentó un aumento considerable en el contenido de ácidos orgánicos.

En general, debido a la gran variedad de compuestos orgánicos que presenta un alimento ya los numerosos tipos de microorganismos que pueden descomponerlo, se pueden llevar a cabo gran cantidad de cambios químicos resultando en muchos productos diferentes, que alterarán la calidad del producto.

Capítulo III

## Preservación y almacenamiento del fruto.

Debido a

Las condiciones deficientes bajo las cuales se desarrolla una <sup>el fruto</sup> planta, como escasez de minerales esenciales, falta de agua, etc., pueden <sup>se</sup> afectar <sup>este</sup> la calidad del fruto obtenido. Existen además otros problemas que se originan esencialmente después de la cosecha y que causan la deterioración de los productos durante su almacenamiento. <sup>Como son</sup>

- 2) En primer lugar tenemos los daños fisiológicos que se presentan al almacenar el fruto a temperaturas menores a su rango fisiológico normal. Este tipo de daño se caracteriza por la presencia de pequeños hoyos en la superficie del fruto y por decoloraciones en la superficie o tejidos más profundos. Esto se debe a la muerte de las células de la epidermis, las cuales se secan y se hunden, tornándose café después de algún tiempo. El oscurecimiento de los tejidos se debe a la acción incontrolada de la fenoloxidasa, proveniente de la desintegración de las membranas celulares de las células muertas. El efecto de las bajas temperaturas es sobre los sistemas enzimáticos, permitiendo la acumulación de productos intermediarios tóxicos en cantidades suficientes para matar las células. Los productos del metabolismo anaeróbico, alcohol etílico y acetaldehído, son muy tóxicos y pueden matar a las células si no son eliminados rápidamente. Es por esto que la falta de oxígeno en la atmósfera de almacenamiento puede causar síntomas similares a los debidos a enfriamiento; sin embargo en este caso la coloración se encontrará en los tejidos más profundos, los más alejados de la atmósfera.

La acumulación de las sustancias volátiles causantes del sabor puede desarrollar síntomas tóxicos. En este caso se decolora la piel y los tejidos más cercanos a ella. Parece ser que la propia cáscara del fruto sirve como barrera que impide la eliminación de las sustancias volátiles, causando la descamación característica. Los pa-

peles impregnados de aceite que se utilizan para envolver la fruta absorben las sustancias volátiles, ayudando a evitar su acumulación. Como se puede ver, además del control microbiológico es muy importante controlar los cambios químicos propios del fruto, ya que una vez alcanzada la maduración total el producto envejece y se descompone.

*En el caso de la guayaba se emplean diversos métodos*

A continuación se tratarán las diversas formas en que se ha manejado la guayaba para prolongar su vida en almacenamiento.

Uno de los métodos más comúnmente utilizados es el almacenamiento a bajas temperaturas. Singh y Marthur (38) realizaron estudios a este respecto y concluyeron <sup>ya</sup> que a bajas temperaturas, manteniendo una ventilación adecuada; se logra prolongar el almacenamiento de este fruto, sin perder calidad. Bajo estas condiciones se logra tanto inhibir el desarrollo microbiano como reducir la actividad metabólica del fruto, retardando su maduración.

Otro método utilizado es el recubrimiento de la cáscara con algún tipo de cera. Agnihotri y Ram (1) estudiaron el comportamiento de la guayaba recubierta con una solución fungicida de cera. La capa protectora reduce la actividad metabólica del producto, disminuyendo la velocidad de respiración y transpiración. La emulsión fungicida utilizada contenía 9% de sólidos y 0.5% de hexaminortofenilfenato de sodio. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Porcentaje de peso perdido durante el almacenamiento.

Tratamiento	Promedio de 6 frutos			Promedio de 18 frutos
	Período de almacenamiento			
	3	6	9 (días)	
Control	7.43	12.87	16.99	12.43
Emulsión	4.06	7.76	10.38	7.40
Promedio de 12	5.75	10.31	13.68	

Como se ve en la tabla anterior el porcentaje de pérdidas en la guayaba tratada y la no tratada <sup>Así se registra</sup> fue de 10.00 y 16.79 respectivamente después de 9 días de almacenamiento a temperatura ambiente. También se <sup>no</sup> observó <sup>do</sup> que existe una mayor disminución en longitud y circunferencia en los frutos no tratados que en los tratados. El porcentaje de reducción en circunferencia y longitud de los frutos sirve para medir el encogimiento. Por lo tanto habrá menos pérdida por transpiración en los frutos tratados.

El porcentaje de azúcares reductores es mayor en los frutos tratados, pero el total de azúcares es mayor en los frutos controles durante todo el período de almacenamiento. Los frutos recubiertos con cera presentaron un mayor contenido de ácido ascórbico y mayor acidez total. La producción de sólidos totales <sup>es</sup> fue menor en los frutos tratados. La velocidad de respiración <sup>es</sup> fue comparativamente menor en los frutos recubiertos con la emulsión.

Cambios físicoquímicos en el fruto .

Característica	Días de almacenamiento				
	V.I.	Control		con Emulsión	
		3	9	3	9
A	11.2	11.5	13.5	11.4	12.5
B	100.2	15.0	0	50.0	40.0
C	100.0	100.0	45.0	100.0	70.0
D	100.0	100.0	118.0	162.0	160.0
E	0.47	0.47	0.44	0.5	9.47
F	5.0	4.67	4.81	5.16	5.20
G	3.0	2.24	3.15	1.67	2.24
H	8.73	7.21	8.12	6.91	7.55

- A: Sólidos solubles totales %
- B: Fruta amarillo-verdosa %
- C: Mercaderabilidad %
- D: Acido ascórbico(mg/100gr)
- E: Acidez (ácido cítrico) %
- F: Azúcares reductores %
- G: Azúcares no reductores %
- H: Azúcares totales %
- V.I.: valor inicial

Este tratamiento al retardar la maduración del fruto mantiene sus colores y textura característicos. La evaluación organoléptica de los productos tratados demostró <sup>esta</sup> que la textura, gusto y sabor ~~eran~~ mejores que los de los frutos testigos. no tratados.

Recientemente se ha desarrollado una nueva técnica de preservación de materia metabólicamente activa, como pueden ser frutas, vegetales, flores, plantas, carne, pescado, etc., llamada almacenamiento hipobárico o almacenamiento a presión subatmosférica. El fundamento de este método se basa en la ecuación de intercambio gaseoso en el fruto, en la que se ha demostrado que el factor que limita el intercambio es una fase de aire con un área de superficie restringida. La ecuación utilizada es una modificación de la ley de Fick:

$$- \frac{ds}{dt} = (C_{in} - C_{ex}) D \cdot R \quad (1)$$

donde  $-ds/dt$  es la velocidad de transporte gaseoso hacia afuera del fruto,  $C_{in}$  y  $C_{ex}$  las concentraciones del gas dentro y fuera del producto respectivamente,  $D$  es el coeficiente de difusión en el aire y  $R$  una constante específica para cada mercancía.

Si el producto se encuentra en equilibrio con el medio ambiente la velocidad de salida del gas ( $-ds/dt$ ) es igual a la velocidad con que éste se produce dentro del fruto. Según la ecuación (1) la velocidad de difusión de un gas, en equilibrio, está determinada por el producto de un constante ( $R$ ) por dos variables, el gradiente de concentración del gas y la difusibilidad ( $D$ ). El coeficiente de difusión es inversamente proporcional a la presión absoluta del aire mientras el paso limitante del intercambio gaseoso ocurra en la fase aérea.

Si un producto en equilibrio con su medio ambiente es transferido

a un aire rarificado con una presión absoluta de 0.1 atmósfera, al establecerse el nuevo equilibrio cualquier sustancia volátil escapará a la misma velocidad inicial. Sin embargo el gradiente de concentración que causa la difusión del gas se ajusta a 0.1 de su valor inicial, ya que la difusibilidad aumentó 10 veces. El producto  $(C_{in} - C_{ex}) \times D$  se mantiene constante y mantiene la velocidad de salida del gas en su valor inicial. Esta velocidad no es alterada por las condiciones hipobáricas en si, sino que aumenta o disminuye por factores secundarios. El ambiente hipobarico presenta una presión parcial de oxígeno muy baja, lo que en muchos casos disminuye la velocidad de síntesis de las sustancias volátiles, ya sea limitando el suministro de energía o impidiendo que se realice alguna reacción oxidativa necesaria para la biogénesis de alguna sustancia volátil específica. Por otro lado, si la síntesis de dicha sustancia depende de la concentración del producto, al disminuir la concentración interna la velocidad de formación de la sustancia puede aumentar. La anaerobiosis puede favorecer su producción si la sustancia es un compuesto altamente reducido.

El método consiste en colocar el producto en una corriente de aire saturado con agua (RH=80-100%) a una presión reducida (4-400mmHg) y a una temperatura controlada (-2 a 15°C). Existen otros métodos en los que se utiliza una presión ligeramente reducida y se trabaja aproximadamente a 650mmHg. Estos sistemas tienen como finalidad principal mejorar la circulación del aire o facilitar el uso de varias combinaciones de oxígeno, nitrógeno y bióxido de carbono a presión atmosférica. En estos casos la presión absoluta no es importante, por lo que este tipo de sistema no va a influenciar la difusibilidad, ni  $pO_2$ , como lo hace el sistema hipobárico. Otra diferencia entre estos sistemas es el uso de aire saturado de agua en el sistema hipobárico, con lo cual los vapores liberados son arrastrados

manteniendo  $C_{ex}$  en un valor mínimo. Además gases que normalmente permanecen dentro del producto ( $C_{in}$ ) son forzados a escapar del fruto debido a que la difusibilidad aumenta, proporcionalmente a la reducción de la presión.

Combinando ecuaciones y tomando  $C_{ex}=0$  :

$$\frac{ds}{dt} (C_{in} - C_{ex}) D x R$$

$$\frac{ds}{dt} x \frac{1}{D x R} = C_{in} - C_{ex}$$

D es inversamente proporcional a la presión absoluta :

$$D \sim \frac{P_0}{P}$$

$$\frac{ds}{dt} x \frac{1}{R} x \frac{P}{P_0} = C_{in}$$

Si la producción de gas no es afectada por cambios secundarios:

$$C_{in} \sim P/P_0$$

A presión atmosférica los cambios de aire pueden eliminar los vapores presentes en el aire que rodea al producto almacenado, pero no pueden eliminarlos del interior del fruto, ya que la salida de estas sustancias se encuentra limitada por el tamaño de los pequeños pasillos de aire presentes.

En la técnica hipobárica la maduración del fruto es retardada por dos efectos:

1. La eliminación de etileno se incrementa al aumentar la difusión.
2. Al disminuir la presión parcial de oxígeno disminuye la respiración del fruto y con ella la actividad metabólica.

Se sabe que el bióxido de carbono disminuye en forma competitiva la acción del etileno. Sin embargo, bajo condiciones hipobáricas no es necesario aumentar la presión parcial de este gas, ya que el

etileno es eliminado al aumentar la difusibilidad. En cierto sentido el sistema hipobárico actúa como purificador de aire, ya que la presión parcial de gases contaminantes disminuye proporcionalmente con la reducción de presión. Las sustancias volátiles que contribuyen a los daños en refrigeración (acetaldehído, alcohol), los malos olores relacionados con el desarrollo bacteriano, putrefacción y rancidez de carnes y pescados, y otros problemas fisiológicos, son eliminados por este tipo de sistema.

El almacenamiento hipobárico tiene además otras ventajas:

1. Control de los niveles de oxígeno a  $pO_2$  bajas.
2. Control de humedad relativa cercana a 100%.
3. Al cambiar el aire frecuentemente se impide que se acumulen los gases no deseados.
4. Se mantiene una temperatura uniforme.
5. Opera con flexibilidad y economía.

*Tambien se sabe q en la guayaba*

Manteniendo muy alta la humedad del sistema se evita el encogimiento de la fruta, así como la pérdida de peso y la desecación.

La humedad relativa puede mantenerse cerca del 100% , pero no es tan alta como para que el agua se acumule en la superficie de la mercancía y propicie el desarrollo microbiano.

En estudios hechos en duraznos se vio que este sistema retarda la formación de carotenoides, aún cuando al final del almacenamiento los frutos tratados y los controles presentan la misma cantidad de ellos.

Tanto en duraznos como en cerezas se vio que este método retarda la pérdida de azúcares. En peras se demostró que bajo estas condiciones se retarda la degradación de la clorofila. En estos ejemplos puede verse que este método disminuye el metabolismo del producto.

Además de los efectos mencionados el almacenamiento a baja presión tiene un efecto fungistático. A menor presión existe una mayor inhibición del crecimiento y esporulación de los hongos.

Burg (5) estudió el comportamiento de varios frutos almacenados bajo estas condiciones. Trabajando con guayaba demostró que su almacenamiento se prolongaba bastante utilizando esta técnica.

Maduración de varios frutos en aire a 760mmHg y a presiones subatmosféricas a una temperatura de 15°C.

Presión (mmHg)	No. de frutos	Días hasta que el 50% de la fruta maduró	
		Control	Tratado
125	Jitomate 40	11	45
200	Aguscate 10	6	12
200	Mango 10	3	8
150	Mango 10	4	17
150	Cereza 100	5	13
150	Lima 60	10	más de 56
150	Guayaba 16	6	más de 30

\* Otro método bastante equocado es ~~por~~ el uso de atmósferas controladas, en el cual se ha observado que se logra retardar su proceso de maduración hasta más de 30 días <sup>por</sup>.

Conclusiones:

En el presente trabajo se expusieron los factores y condiciones que pueden afectar la vida y calidad de la guayaba durante su almacenamiento. Las características físicas y químicas propias del fruto, así como el medio ambiente que lo rodea durante su desarrollo, determinarán el proceso a seguir para lograr una mejor preservación.

Durante el desarrollo del fruto en la planta madre hay que tratar de evitar posibles infecciones que puedan arruinar la cosecha. Una vez desarrollado un fruto sano es muy importante que durante la cosecha se eviten daños mecánicos que faciliten la diseminación de microorganismos en el producto. Ahora bien, la selección de los frutos debe hacerse con cuidado para evitar contaminaciones de un fruto a otro; así como los sistemas utilizados en el transporte deben estar limpios para evitar contaminaciones con cargas anteriores.

Es importante tomar en consideración el efecto que tiene las sustancias reguladoras del crecimiento sobre la vida de un fruto. En los experimentos realizados por Teatitia y Singh (47) se vio que el ácido 2,4,5 triclorofenoxipropiónico acelera la maduración de la guayaba, mientras que el ácido giberélico la retardará, lo cual podría prolongar su almacenamiento. Sin embargo deben de tomarse en cuenta las alteraciones que dichas sustancias pueden causar en la composición química del fruto, ya que puede afectarse su calidad. El agricultor debe tener en mente la posibilidad de utilizar este tipo de reguladores para prolongar el almacenamiento del fruto, sin dañar su calidad. La sustancia reguladora utilizada dependerá de la variedad de fruto de que se trate y de las condiciones en las que éste se de-

sarrolle.

El proceso de almacenamiento utilizado dependerá de las condiciones económicas del comerciante. Sin embargo, el más recomendable tanto por su eficiencia como por su costo, es el almacenamiento hipobárico, cuyo uso no sólo se limita a la guayaba, sino que puede utilizarse para cualquier producto fresco.

## Resumen

En el presente estudio se tratan diferentes aspectos bioquímicos y microbiológicos de la guayaba. En la primera parte se discuten la composición química y la fisiología de un fruto en general. Más adelante se presentan los estudios que se han realizado a este respecto sobre la guayaba. En la segunda parte se estudia el aspecto microbiológico y se tratan las diferentes enfermedades causadas por microorganismos en este fruto. La tercera parte incluye los diferentes métodos de preservación y almacenamiento que se han utilizado para la guayaba, basándose en las características propias del fruto.

Referencias.

1. Agnihotri, B.N. et al. Storage behaviour of guava variety Allahabad Safeda (Psidium guajava L.) treated with fungicidal wax-emulsion. Food Industries Journal 5 (8): 13-16, 1972.
2. Agnihotri, B.N. et al. Ascorbic acid content of guava fruit during growth and maturity. Sci. and Cult. 28: 435-436, 1962.
3. Akmal, M. et al. L ascorbic acid content of a few varieties of guava as related to maturity. Allahabad Farmer 31 (1): 23-27, 1959.
4. Biale, J.B., Barcus D.E.. Respiratory patterns in tropical fruits of the Amazon Basin. Tropical Science Vol. XII No. 2 .
5. Burg P. Fruit storage at subatmospheric pressures. Science, 15 15, July, 1966.
6. Cañizares Z.J.. La guayaba y otras frutas Myrtáceas. Ed. Revolucionaria, La Habana 1968.
7. Chang H.T. et al. Non volatíl organic acids in guava. J. Food Sci. 36: 237-239, 1971.
8. Charley V.L.S.. The prevention of microbial spoilage in fresh fruit. J. Sci. Food Agric. 10, July 1959.
9. Chattopadhyay S.B., et al. Investigation on the wilt disease of guava in West Bengal. Indian J. Agr. Sci. 38: 65-72, 176-186, 1968.
10. Chaturvedi S.C.. Changes in substrates during growth and development of the fruit of Psidium guajava . Indian Food Packer 28, 4, 1974.
11. Das, R.C. et al. The effect of wax emulsion on the storage life of guava fruit. Plant Sci. 1: 233-238, 1969.
12. Dedolph R.. Factors influencing ascorbic acid concentration in guava. Int. Hort. Congr. Proc. 17:1, 1966.
13. Duckworth R.B. . Fruit and vegetables. Pergamon Press. First edition 1966. Great Britain.
14. Edward J.C., et al. Canker and fruit rot of guava. Allahabad Farmer. 38(2): 59-61, 1964.

15. Food Science and Technology. A series of monographs. The Biochemistry of Fruits and their Products. Vol. 1 and 2. Edited by Hulme. London Academic Press 1970-1971.
16. Frazier W.C. Food Microbiology. McGraw-Hill Book Company. Second Edition 1967.
17. Geplalan C. et al. Nutritive value of Indian Food. National Institute of Nutrition. Indian Council of Medical Res. Hyderabad, India.
18. Harvey T. et al. Identification and determination of sugars in some tropical fruit products. J. of Food Science Vol. 40, 1975.
19. Heinkel H.A.. Chemical and technological studies on the preservation of guava paste. Agricultural Research Review (Cairo), 50 (4), 1973.
20. Kapoor and Tandon. Formation of a new oligosaccharide in guava fruits under pathogenesis. Curr. Sci. 38:444, 1969.
21. Khan S.A.. Preservation of guava and utilization of its waste products. Agriculture Pakistan 18 (1) 1967.
22. Kothari K.L.. Controlling fruit rot of guava. Indian Horticulture 12 (3), 1968.
23. Marthur R.S.. Guava diseases in India. Indian J. Hort. 13:26-29, 1957.
24. Miller C.D., et al. Vitamin values of Hawaiian grown fruits and vegetables. Hawaii Agr. Exp. Sta. Progress Notes 36, revised 1944.
25. Misra K. Seshadri T.R.. Chemical components of the fruit of Psidium guajava. Phytochemistry 1968, Vol. 7 (4) :641-645.
26. Mustard M. Ascorbic acid content of some Florida grown guavas. Florida Agricultural Experimental Station Bull. 414:14, 1945.
27. Osborn R.A. Chemical composition of fruit and fruit juices. J. Ass. off Agr. Chem. Wash. 47: 1068-1086, 1964.
28. Prasad N. et al. Fusarium wilt of guava (Psidium guajava L.) in

- Uttar Pradesh, India. Nature 169: 753, 1952.
29. Rajarajalen B. et al. Diplodia natalensis causing dry rot of guava fruits in South India. Plant Disease Reporter 56,4. 1972.
  30. Salunkhe D.K., et al. Subatmospheric storage of fruits and vegetables. In Postharvest Biology and Handling of Fruits and Vegetables. Edited by Norman F. Haard the AVI Publish. Co., Inc. 1975.
  31. Samish Z. et al. The microflora within the tissues of fruits and vegetables. J. Food Sci. 28:259, 1963.
  32. Sánchez J.B.. Monografía de la Guayaba. Escuela Nacional de Agricultura. Dento. de Fitotecnia. Chapingo México, 1971.
  33. Sastry M.V.. Biochemical studies in the physiology of guava, I-IV. Indian Food Packer, 19 (1) (3) (4) (5), 1965.
  34. Seshadri T.R. et al. Polyphenolic components of guava fruits. Curr. Sci. 33: 334-335, 1964.
  35. Sachan B.P. et al. Ascorbic acid content of different varieties of guava. Indian Food Packer 24 (1): 16-17, 1970.
  36. Shanker G.. Problems and possibilities in guava cultivation. Allahabad Farmer 41 (5), 1967.
  37. Shanker G.. Physicochemical studies of five guava varieties of Uttar Pradesh. Allahabad Farmer 41 (1): 9-12, 1967.
  38. Singh K. et al. Cold storage of guavas. Indian Journal of Horticulture XI (1), 1954.
  39. Singh O.S. et al. Regulation of fruit ripening in guava by gibberellic acid. Trop. Agriculturist 126: 85-9, 1970.
  40. Singh R.H. and Tandon . Postinfection changes caused by Aspergillus niger van Tiegh in amino acids and organic acids of pomegranate, mango and guava fruits. TON 27 (1):101-105 V-1970.
  41. Singh R.H. et al. Vitamin C content of guava fruits infected with Aspergillus niger . Indian Phytopath. 24 (4): 807-809, 1971.
  42. Srivastava H.C. et al. Storage behaviour of skin coated guavas



under modified atmosphere. Food Sci. 11 (8): 244-248, 1962.

43. Srivastava M.P. et al. Influence of Botryodiplodia infection on the ascorbic acid content of two varieties of guava. *Experientia* 22 (12) : 789-790, 1966.
44. Srivastava M.P., Tandon R.N.. Postharvest diseases of guava in India. *Plant Disease Reporter* Vol. 53 (3): 206-208, 1969
45. Srivastava M.P.. Biochemical changes in certain tropical fruits during pathogenesis. *Phytopath.* Z 64:119-123, 1969.
46. Tandon R.T. et al. Pathological studies of Gloeosporium psidii causing dieback of guavas. *Indian Acad. Sci. Proc. Sect. B* 40:102-109, 1954 .
47. Teatota et al. Effect of growth substances on ripening and quality of guava. *Journal of Food Science and Technology*, Vol. 9 , 1972.
48. Tripathi R.S. et al. Biochemical changes as indices of maturity in guava. *Progr. Hort.* 3 (1) :17-23, 1971.
49. Venkatakrishniah N.S.. Glomerella psidii and Pestalotia psidii associated with a cankerous disease of guava. *Indian Acad. Sci. Proc. Sect. B.* 36: 129-134, 1952.