

MADURACIÓN E ÍNDICES DE COSECHA EN FRUTOS

Aspectos fisiológicos Determinación de estados de madurez

Los frutos son exclusivos de las plantas con flores. El proceso de crecimiento y maduración de los frutos es muy complejo y actúan un gran número de genes que desencadenan la síntesis y degradación de diferentes compuestos bioquímicos que conllevan a las características organolépticas, no sólo de la especie en particular, sino fundamentalmente de la variedad o cultivar.

El proceso de inicia a partir de la fecundación de la oosfera por parte del anterozoide, dando lugar a la formación del cigoto con las sucesivas divisiones celulares. Este proceso no es general para todos los frutos, ya que debemos mencionar a los frutos partenocárpicos, los cuales presentan una diversa gama de respuestas al estímulo del polen y del tubo polínico. En el otro extremo encontramos a los frutos que necesariamente necesitan de la polinización y la generación de las semillas para el desarrollo normal de los mismos, requiriendo de un número mínimo de semillas fecundadas para lograr un fruto de calidad. Desde el punto de vista botánico, los frutos proceden del ovario fecundado y maduro. Sin embargo, lo que comúnmente llamamos frutos puede proceder de otros tejidos, los cuales pueden ser muy variables. En Morfología Vegetal se encuentra descrita en detalle esta gran variedad. En la Figura 1 se pueden observar los diferentes orígenes de los “frutos” (en algunos casos falsos frutos).

Desde el punto de vista nutricional, los frutos aportan básicamente agua en una gran proporción (> al 95%), con el excepción de los llamados frutos secos, que después de un proceso de secado llegan a tener un tenor de humedad del 5 %.

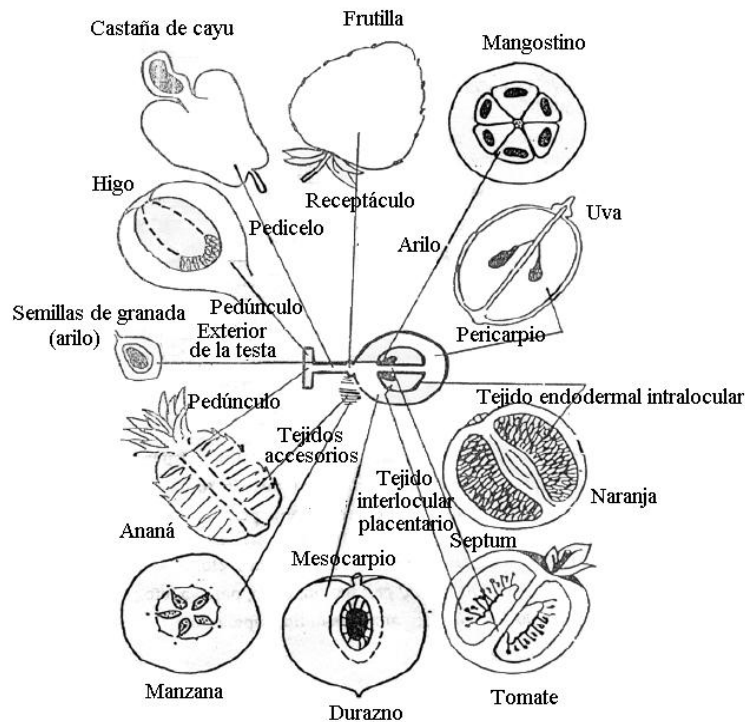


Figura 1. Estructura y origen de los diferentes frutos. Existe una gran variabilidad en cuanto al origen de los órganos comestibles, que van desde las semillas, arilos, pelos hasta receptáculos.

1. Fases del desarrollo de un fruto

Una vez finalizada la etapa de floración y producida la fecundación de las semillas, comienza el cuajado de los frutos, que es el proceso por el cual el ovario se transforma en el fruto propiamente dicho. Este proceso finaliza con la maduración y posterior senescencia y caída. La duración del proceso es muy variable, llegando en los frutales extratempranos, como son el caso de algunos durazneros (Flordaking, Spring Crest, Spring Lady, etc.), damascos y cerezas a 70 u 80 días, mientras que en los manzanos a 120-125 días en Royal Gala hasta los 195-200 días en Fuji y en peras Williams llegan a 100 días en el Alto Valle de Río Negro.

El proceso de crecimiento se caracteriza por la presencia de diferentes fases. Las fases por las que pasan los frutos se pueden dividir en tres (Figura 2):

- **FASE I: Multiplicación celular:** Se produce una intensa división celular, alcanzando el número total de células que tendrá el fruto hasta el final de la maduración. En este proceso, el fruto presenta un tamaño pequeño. Tiene una duración que puede ir de 10 a 30 días.
- **FASE II: Engrosamiento celular:** Se produce una acumulación de agua e hidratos de carbono hasta alcanzar casi su tamaño máximo. Esta fase presenta una gran variabilidad, dependiendo de la especie y la variedad, pudiendo durar entre 30 y 90 días.
- **FASE III: Maduración:** Durante esta fase se producen transformaciones bioquímicas que llevan a adquirir las características gustativas específicas, es decir la madurez organoléptica. El crecimiento en esta etapa se desacelera y ocurren la mayoría de los cambios de color, sabor y textura.

Durante el crecimiento, los frutos presentan curvas típicas:

Curva sigmoidea simple: Frutales de pepita, cítricos. En el caso de los frutales de pepita el crecimiento del fruto se encuentra fuertemente influenciado por la cantidad de semillas. Ante la ausencia de semillas en algunos de los lóculos, se producen deformaciones que desmerecen la calidad de los frutos.

Curva doble sigmoidea: Frutales de carozo, vid, arándanos, higos. En el caso de la vides, las variedades partenocárpicas presentan una curva sigmoidea simple, mientras que las que tienen semillas una doble sigmoidea. Los frutales de carozo presentan una detención debido al crecimiento del endocarpio y la semilla, que puede durar de 2 a 3 semanas.

En algunos frutos como el kiwi, determinar un patrón de crecimiento no siempre es fácil, ya que puede variar entre variedades, entre campañas, y entre zonas productoras; de esta forma, en un fruto que no posee carozo podemos llegar a ver curvas más bien parecidas a las dobles sigmoideas que a las simples y se han reportado casos de triples sigmoideas también.

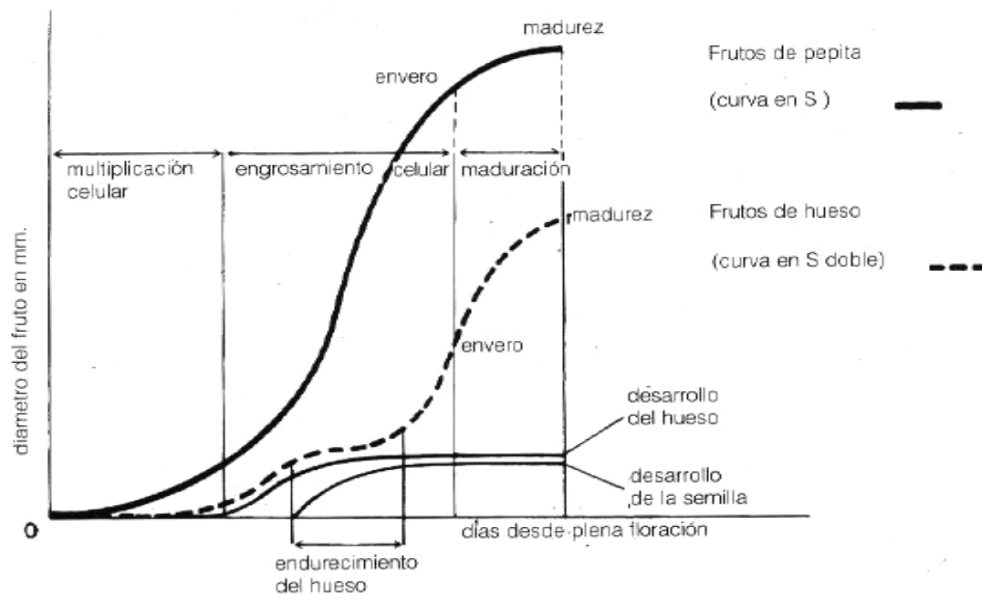


Figura 2. Curva de crecimiento de los frutos, en el caso de los frutales de pepita –simple sigmoidea –, comparados con los frutales de carozo –doble sigmoidea –. Como se puede observar el crecimiento de las diferentes partes del fruto se produce a distinto tiempo, es decir el crecimiento de la semilla, del meso y endocarpio.

2. Madurez de cosecha

Antes de referirnos específicamente al concepto de Madurez de Cosecha, debemos explicar que existen tres puntos de madurez:

Madurez Fisiológica: corresponde al estado en el cual el fruto asegura su completo y apropiado proceso de maduración. Los frutos adquieren la maduración fisiológica unidos a la planta que les dio origen, por lo que no se recomienda su cosecha antes de que hayan alcanzado este estado.

Madurez organoléptica o de consumo: corresponde a aquella en la que se han alcanzado todos los atributos que un fruto necesita en color, textura, aroma y sabor deseables para el consumidor.

Madurez comercial o de cosecha: se sitúa entre los dos estados mencionados anteriormente, habiendo el fruto alcanzado la madurez fisiológica y tener los atributos para su consumo o posterior evolución para adquirirlos.

El momento elegido para hacer la cosecha es un punto importante a tener en cuenta y dependerá de:

- Maduración fisiológica del fruto y comercial (se detalla en el apartado más adelante)
- Disponibilidad de mano de obra y maquinaria (como así también las ayudas para la cosecha): Esto influenciará el tiempo de cosecha y el trabajo minimizando los golpes a la fruta y los tiempos de espera.
- Momento del día: Este punto dependerá a su vez de varios factores, como ser la fisiología del fruto (hay ciertos frutos que se recomienda cosechar tarde), como así también de las temperaturas reinantes. A menor temperatura en el momento de cosecha, los equipos de enfriamiento harán más eficientemente su trabajo retirando el calor de campo más rápidamente. En ciertos casos, como es en la cosecha de la vid, se está comenzando a hacer la cosecha nocturna. En el caso de los cítricos se recomienda

comenzar la cosecha después de las 10 hs, evitando así la presencia de humedad en el fruto y la rotura de las células glandulares, dando un defecto llamado "oleocelosis".

- Tiempos de espera: dependerá de la logística desarrollada para minimizar la exposición de la fruta a altas temperaturas. A mayor tiempo de espera, menor es la vida postcosecha de la fruta.
- Utilización de equipos de enfriamiento a campo: No se da en todos los casos. En los frutos perecederos, como por ejemplo en los berries en general, este punto es muy importante.

3.1 Proceso de Maduración

La maduración comprende los cambios producidos entre el final del crecimiento y el comienzo de la maduración de consumo.

Durante la fase III se produce un desaceleramiento en el crecimiento y se da lugar a una serie de cambios bioquímicos que determinan diferentes características de los frutos. Dentro de los procesos fisiológicos se producen:

- Respiración
- Fotosíntesis
- Transpiración
- Fermentación
- Síntesis de compuestos simples (azúcares –glucosa, fructosa y sacarosa- y alcoholes – como por ejemplo manitol-)
- Síntesis de compuestos volátiles (etileno, aldehídos, cetonas, alcoholes de alto peso molecular, entre muchos otros)
- Degradación de sustancias complejas (almidón y paredes celulares)

Estos cambios a nivel bioquímico pueden ser medidos cuantitativamente por diferentes métodos. A continuación se enumeran los índices más utilizados para las determinaciones de madurez en frutos. Estos índices y sus valores dependen de los diferentes destinos que tenga la fruta, ya que los requerimientos para su consumo en fresco varían con respecto a los de la industria.

En la tabla siguiente se resumen los principales compuestos y qué es lo que sucede durante la maduración de los frutos:

Componentes	Fruto inmaduro	Fruta maduro
Hidratos de carbono	En forma de almidón (en algunos casos)	En forma de azúcares simples
Clorofilas	Presentes	Degradación de pigmentos clorofilianos
Pigmentos	Ausentes o emascarados por la clorofila	Síntesis de compuestos coloreados y degradación de compuestos clorofilianos.
Compuestos fenólicos	Se encuentran en su forma condensada	Se encuentran en su forma soluble
Sustancias volátiles	Poco abundantes	Presencia de gran variedad de volátiles (entre ellos el etileno, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, etc.)
Pectinas	Condensadas y de cadena larga	Despolimerización y acortamiento de pectinas (ablandamiento del fruto)
Ácidos orgánicos	Síntesis y presencia de ácidos orgánicos	Respiración de los ácidos, lo que disminuye su concentración

4. Índices de maduración

El momento oportuno para la cosecha es de suma importancia en lo que respecta a la calidad, la comercialización y las posibilidades de almacenamiento de los frutos. A partir de los cambios que se producen en la maduración, se pueden cuantificar estas modificaciones que se dan en los frutos.

Los índices de maduración deben ser:

- Objetivos, es decir que den datos reproducibles
- Simples, de fácil y rápida ejecución a campo
- Indicativos, que representen la evolución de la característica examinada

Por otro lado se pueden clasificar en objetivos, (la medida es independiente del observador) o subjetivos (la medida se encuentra fuertemente sesgada por el observador); destructivos (cuando los frutos son cortados o punzados y no pueden ser utilizados para otras mediciones) o no destructivos (los frutos pueden medirse varias veces en el tiempo).

Índices o parámetros de maduración	
Climático Fenológicos	Edad del Fruto
Fisiológicos	Tasa respiratoria Tasa de producción de etileno
Físicos	Firmeza de pulpa Tamaño Color de las semillas y de la pulpa Color de la piel (fondo y superficie) Pérdida de peso
Químicos	Acidez Total Titulable (ATT) Índice de almidón Contenido de sólidos solubles Contenido de ácidos orgánicos RATIO Porcentaje de jugo Contenido de aceite // contenido de materia seca
Morfológicos	Suberificación de lenticelas Forma del fruto
Organolépticos	

4.1 Toma de muestras

Se deben tomar entre 20 y 30 frutas representativas del cuartel que se pretende cosechar. Las frutas deben ser tomadas al azar, de por lo menos cinco plantas, a la altura del hombro (aprox. 1,3 m), rodeando a cada uno de los árboles. A partir de ellas se procederá a hacer las diferentes determinaciones que se describen a continuación

4.2 Índices climático-fenológicos

4.2.1 Edad del fruto

La edad del fruto se define como el período entre plena floración y madurez comercial, es decir el tiempo que tarda un fruto desde que el 75 % de las flores se abren hasta el inicio de la cosecha comercial. Es un índice estimativo y depende de las condiciones climáticas de cada temporada y variedad en particular (es decir, la maduración depende de la suma de unidades de calor o grados día hasta el momento de maduración). Como ejemplo se describen a continuación en la Tabla 1 las fechas de floración, fecha de cosecha y edad del fruto para la variedad de pera Williams en el Alto Valle de Río Negro para distintas temporadas.

WILLIAMS
FLORACION DE OCTUBRE

Temporada	Fecha F2	Fecha Cosecha	Edad Fruto
1978/79	01-Oct	11-Ene	102
1985/86	01-Oct	10-Ene	101
1987/88	05-Oct	13-Ene	100
1994/95	04-Oct	15-Ene	103
2000/01	06-Oct	15-Ene	101
2003/04	01-Oct	09-Ene	100
2007/08	01-Oct	09-Ene	100

Tabla 1. Fechas de floración de octubre, Edad de fruto y Fecha de Cosecha Definitiva. Pera Williams. Programa de Madurez. Registros 1965-2007.

4.3 Índices Fisiológicos

4.3.1 Tasa respiratoria (TR)

Es uno de los principales índices para medir la evolución del proceso de crecimiento y maduración de los frutos. Este punto es de suma importancia ya que determina a grandes rasgos dos grandes grupos de maduración en frutales: los frutos climatéricos y los no climatéricos (Kader AA, 1999).

Frutos No Climatéricos: Cítricos en general, cereza, vid, frambuesas, moras, ananá, granada, entre muchos otros.

Frutos Climatéricos: Frutales de pepita, frutales de carozo, kiwi, palta, mango, banana, papaya, chirimoya, arándanos, entre otros.

Esta división comenzó con los estudios de Kidd y West en 1925 en manzana; sin embargo en la actualidad se encuentran una gran variedad de frutos que presentan comportamientos intermedios en una escala de grises. Como principales puntos, se puede decir que los frutos climatéricos clásicos presentan tres características fundamentales: *la aplicación de etileno adelanta la maduración; la magnitud de la tasa respiratoria es independiente de la concentración aplicada de etileno y la producción autocatalítica de esta hormona continúa a pesar de haber retirado a posteriori el tratamiento con etileno.*

Estas características que determinan el comportamiento de los frutos es debida a las vías de síntesis del etileno, descubiertas por Yang y Hoffman (1984). Estos investigadores descubrieron que las plantas presentan dos sistemas de producción de etileno: El sistema I, cuya vía de síntesis es lineal y el sistema II, autocatalítico, en el cual un aumento del producto (etileno) incrementa una mayor síntesis de esta hormona. En cuanto a la respuesta a las aplicaciones de etileno, en los frutos climatéricos se producen cambios drásticos de la maduración en cortos períodos de tiempo; sin embargo, los frutos no climatéricos también responden a la aplicación de etileno, como es el caso del desverdizado de cítricos. A modo de resumen y como ayuda a lo dictado en la clase teórica se resumen las principales características entre estos dos grupos:

Frutos Climatéricos	Frutos No Climatéricos
La respiración descende continuamente durante el crecimiento del fruto y presenta un aumento abrupto que se define como pico climatérico	La respiración descende continuamente durante el desarrollo del fruto.
Incremento brusco de la síntesis de etileno alcanzando niveles superiores a los de los frutos no climatéricos	No presentan un aumento brusco en la síntesis de etileno
Sensibilidad alta y diferencial al etileno: Su aplicación exógena adelanta el pico climatérico, pero una vez que esto ocurre, el nivel de síntesis es igual al fruto sin aplicación.	Sensibilidad baja al etileno durante toda la maduración: La respuesta a su aplicación exógena acelera la maduración, pero es dependiente de la concentración de la hormona y cuando se detiene el tratamiento deja de haber respuesta
La síntesis de etileno presenta AUTOCATÁLISIS (Sistemas I y II de receptores)	La síntesis de etileno NO es autocatalítica (Sistema I)
Cambios de maduración drásticos en respuesta al pico respiratorio y de etileno	Cambios en la maduración en general graduales
Pico de Ácido abscísico precede al pico de etileno	Aumento del Ácido abscísico y auxinas hacia el final de la maduración

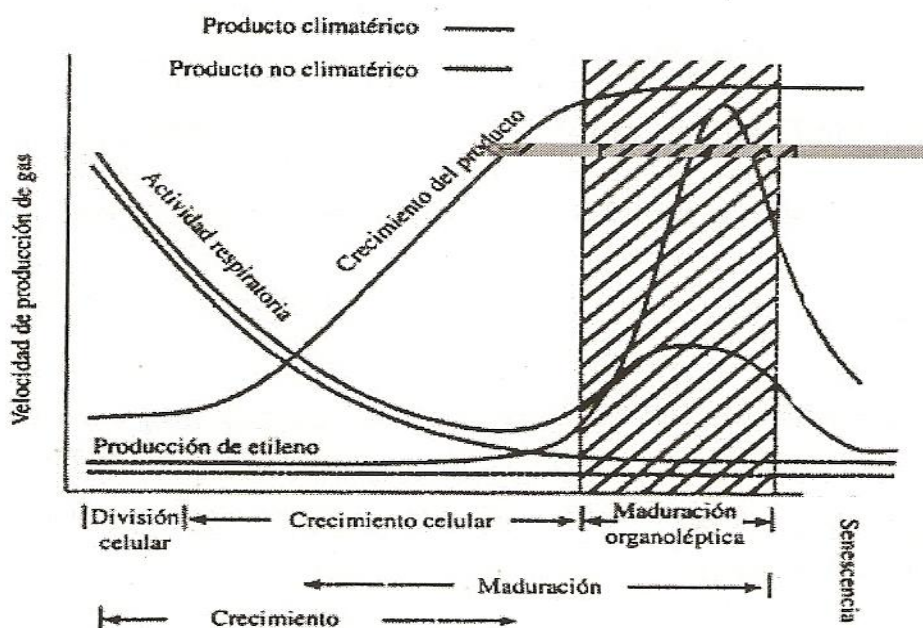


Figura 3. Pautas de crecimiento, respiración y producción de etileno de órganos vegetales climatéricos y no climatéricos.

La tasa respiratoria consiste en la determinación del contenido de CO_2 producido por una determinada cantidad de frutos en un tiempo. Los frutos se deben incubar en un embase herméticamente cerrado y se obtiene el cambio de concentración de CO_2 producido en un determinado tiempo, a partir de la diferencia entre el valor final e inicial (Ver Fórmula 1). Su

determinación es muy importante en frutos climatéricos, sobre todo cuando se pretende almacenar fruta por largos períodos de tiempo como son las manzanas y las peras. Puede llevarse a cabo por medio de un cromatógrafo de gases con detector de conductividad térmica (preciso pero costoso) o por medio de detectores en el infrarrojo (longitud de onda que absorbe el CO₂) que resultan mucho más económicos, portátiles y con un nivel de precisión moderado.

$$TR [\mu\text{L CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{PF} \cdot \text{min}^{-1}] = \frac{\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1} [\text{CO}_2] \text{ final} - \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1} [\text{CO}_2] \text{ inicial}}{\text{Tiempo} [\text{min}] \cdot \text{Peso Fresco} [\text{Kg}]} \times \frac{\text{Vol. (L)}}{(\text{envase})}$$

Fórmula 1. Tasa respiratoria en función del aumento de la concentración de CO₂.

4.3.2 Tasa de Producción de etileno

El etileno es una de las hormonas más importantes tanto en la maduración de frutos climatéricos como no climatéricos. Dependiendo del tipo de fruto climatérico que se trate, se pueden dar aumentos de entre 10 y 1.000 veces durante el climaterio. El proceso de producción de etileno va acompañado de un aumento en la tasa respiratoria. En el caso de los no climatéricos, producen esta hormona, pero a una tasa baja y casi constante.

Su determinación se puede hacer extrayendo aire de las cavidades internas de un fruto o por el almacenamiento de los frutos en un ambiente hermético por un tiempo determinado. La determinación se puede hacer por cromatografía gaseosa con detector de ionización de llama o por medio de electroacústica. Este último es muy costoso, pero permite determinar concentraciones muy bajas de este gas.

4.4 Índices Físicos

4.4.1 Firmeza de la Pulpa

Es la presión o resistencia que ofrece la pulpa a la penetración de un elemento rígido. Esa cualidad de la pulpa se debe principalmente al contenido de pectinas, a la turgencia celular y al espesor de las paredes celulares. A medida que los frutos maduran, la pulpa se ablanda. Esto los divide en frutos fundentes (aquellos que se ablandan muy rápidamente, como es el caso de las ciruelas, duraznos, etc.) y los no fundentes (caso de la manzana). Estos últimos disminuyen la firmeza de la pulpa más moderadamente debido a la estructura de las paredes.

La firmeza de la pulpa es un índice de madurez muy variable. Hay muchos factores que influyen sobre él:

- Factores relacionados con la producción:
- Cultivar
- Grado de madurez
- Prácticas culturales, como fertilización, reguladores de crecimiento y riego
- Exposición a la luz solar
- Estrés ambiental precosecha (sequía, inundación, etc.)
- Factores relacionados con la estructura del tejido
- Composición de la pared celular
- Actividad de las enzimas hidrolíticas
- Presión de turgencia de los tejidos
- Forma, tamaño y distribución de las células
- Presencia de espacios intercelulares
- Ordenación de tejidos vasculares, epidérmico y locular.

Equipos de medida

Penetrómetro manual (destrutivo): consiste en un dinamómetro acoplado a un vástago que se introduce 8 mm. en la pulpa de la fruta después de quitar la piel. Es barato, pero inexacto.

Durómetros medidores de deformación (no destructivos): están basados en el desplazamiento de una pequeñísima bola o de un pequeño cilindro al ser presionados sobre un fruto. Funcionan bien en frutos blandos como el durazno.

Texturómetro de laboratorio (destrutivo): conectado a la PC puede hacerse el ensayo del penetrómetro y otro como punción, compresión, corte; aportando mucha más información, pero siendo más costoso y no portátil.

Equipos de impacto (no destructivos): consiste en golpear ligeramente la fruta con un dispositivo dotado de un acelerómetro, y calcular con un ordenador parámetros como la deformación en el punto de impacto, la aceleración, etc. Se encuentra en desarrollo.

Metodología para la determinación

Las determinaciones se realizan en dos o tres puntos equidistantes en el plano ecuatorial (transversal) del fruto, luego de eliminar la piel. La fruta debe ser puesta sobre una superficie dura y la fuerza al penetrar debe ser hecha a una velocidad constante (la acción debe durar 2 segundos). En el momento en que la fruta se perfora (punto de cedencia del producto), se determina la lectura de presión. Se recomienda que el ensayo lo realice un solo operario, a fin de minimizar la variabilidad.

Para el caso de manzana, la presión (expresada como libras-fuerza (lbf) por pulgada cuadrada, en inglés PSI) varía entre 18 y 20, llegando en ciertas variedades a extremos de 16 y 23. Estos valores son sólo ilustrativos, y deben llevarse a cabo repeticiones en el tiempo.

El vástago (elemento penetrante) que se utiliza para peras tiene un diámetro de 5/16 pulgadas, que puede ser usado para ciruelas y duraznos. El elemento que se emplea para las manzanas tiene 7/16 pulgadas de diámetro. Ambos son cilíndricos y tienen 5/15 pulgadas de largo (Figura 4).



Figura 4. Penetrómetro manual Ametek, con escala en kilogramos (la escala llega hasta los 13 kgf./cm²)

4.4.2 Color

El cambio de color es básicamente debido a la degradación de la clorofila y el aumento y/o desenmascaramiento de otros pigmentos que darán la apariencia final al fruto, como son las antocianinas, carotenoides, licopeno, entre muchos otros.

Color de la piel: Algunos frutos presentan un solo color, como son las peras, la manzana Granny Smith, cerezas, uvas, caquis, arándanos, mientras que otros presentan en cambio color de fondo y otro de superficie o cobertura (manzanas Red Delicious y sus clones, manzanas bicolors, duraznos, pelones, mango, etc).

También se puede tomar el color de:

Color de pulpa: a medida que se produce la maduración, ésta se vuelve más clara y translúcida

Color de las pepitas: Es variable según las especies y las variedades, pasando en general de blanco a colores más oscuros, especialmente el marrón. Utilizado en manzana

Para la evaluación de los colores, se puede recurrir a:

- 1.) Cartas de colores específicas para cada especie y variedad
- 2.) Colorímetro. Es un equipo que emite un rayo de luz blanca, y en función de la luz reflejada nos determina el color. Los resultados son entregados en una escala que fue determinada por la Comisión Internacional de l'Eclairage (CIE). La más utilizada es la LAB, que permite el cálculo de:
 - L^* o luminosidad, cuya escala va del blanco al negro
 - C^* o croma, que depende de la saturación del color
 - h° o matiz (determina el color propiamente dicho)

En la Figura 5 se observa un esquema del código de color

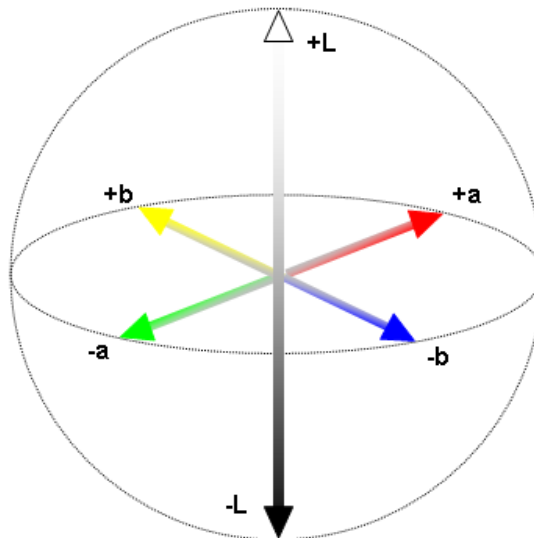


Figura 5. Sistema de color CIE Lab

4.4.2 Pérdida de peso

Es muy utilizado en la postcosecha de frutos, indicando la pérdida de peso debida a la deshidratación de la fruta. Determina una pérdida en el peso vendible del cajón y aumenta la posibilidad de golpes en frutos, con consecuentes daños en el producto a transportar. Se calcula por pesaje sucesivo de los frutos en el tiempo y se expresa en porcentaje en función del peso inicial considerado.

4.5 Índices Químicos

4.5.1 Índice de Acidez Total Titulable

Al igual que los azúcares, los ácidos se acumulan en vacuola y son un sustrato fácilmente respirable. Como es el caso de los ácidos cítrico y málico, ambos forman parte constituyente del ciclo de Krebs. Durante la maduración, los ácidos declinan debido a tres procesos fundamentales, que son respiración, gluconeogénesis y dilución debido a la acumulación de agua durante la fase II de crecimiento de los frutos. Dentro de los ácidos más abundantes se pueden mencionar a los ácidos cítrico (cítricos en general, ananá, arándanos, kiwi, etc.), málico (frutales de pepita, duraznero, ciruelas, etc.) y tartárico (abundante en uvas fundamentalmente). En kiwi además de la presencia de ácido cítrico, se encuentran cantidades apreciables de ácido quínico. En los frutos existen combinaciones de estos y otros ácidos en cantidades variables.

Para de determinación del contenido de ácidos en los frutos, se determina la acidez total titulable, y se la expresa en relación al ácido que se encuentra en mayor cantidad, dependiendo del fruto considerado. Si se desconoce el ácido preponderante en la fruta, se puede expresar en función del peso molecular del ácido sulfúrico.

Ácido	Peso Molecular	Equivalente (en peso)	Factor del ácido en meq.	Frutas
Cítrico	192,12	64,0	0,064	Berries, Cítricos, Ananá
Málico	134,09	67,05	0,067	Manzana, Pera, Durazno
Tartárico	150,08	75,04	0,075	Uva

Procedimiento

Se tritura la fruta sin cáscara en un molino de cuchillas o en un mortero hasta obtener una pasta homogénea. Se filtra el jugo o se centrifuga y se separa el sobrenadante. Se puede también hacer la extracción del jugo en una juguera común.

Con una pipeta se extraen 10 ml. del jugo y se hace una dilución de 1 : 10 con agua destilada. Se trasvasa a un erlenmeyer, se agregan unas gotas de fenolftaleína y se titula con Na(OH) 0,1 N hasta tonalidad rosada persistente. El punto final también se puede determinar por pH cuando la titulación llega a un valor de 8,2.

La acidez se expresa como gramos de ácido por cada litro de jugo o kilo de fruta. Para cítricos, la ecuación es como sigue:

$$ATT = \frac{\text{ml. álcali Na (OH) x Normalidad álcali x factor del ácido en meq.}}{\text{ml. de jugo}} \times 1000 =$$

$$ATT = \frac{\dots\dots\dots \text{ml. x } \dots\dots\dots \text{N x 0,064 meq.}}{\dots\dots\dots \text{ml. de jugo}} \times 1000 =$$

$$ATT = \dots\dots\dots \text{gr. de ácido cítrico/1000 ml. de jugo}$$

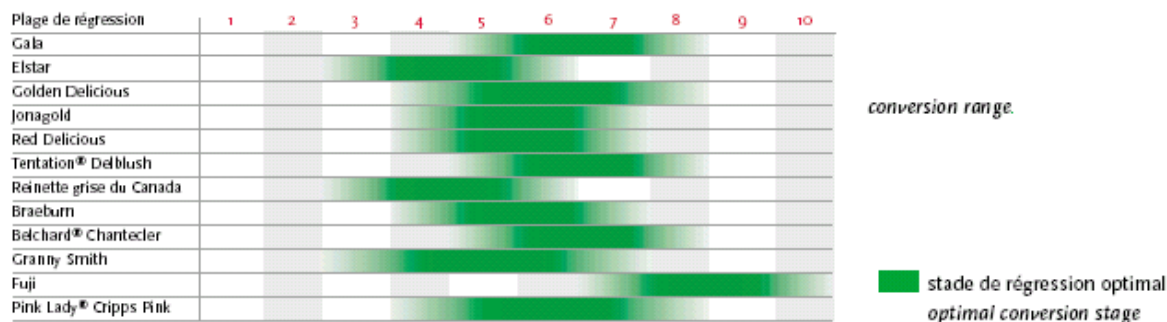
4.5.2 Índice de almidón

El test de almidón permite observar la evolución fisiológica de los frutos antes de la cosecha.

Las manzanas cerca de la madurez desdoblan el almidón en azúcares simples por reacciones de hidrólisis. Este fenómeno se observa cuando se hace un corte transversal (ecuatorial) del fruto y se aplica una solución de lugol: las zonas que presentan almidón, se teñirán de azul oscuro, mientras que las zonas que se encuentran con azúcares libres presentarán color amarronado (típico del lugol). Los estadios por los que pasa el fruto se comparan con una tabla.

Dicha tabla se encuentra dividida a su vez en dos. Por un lado se encuentran las variedades de manzana de maduración circular y por otro las de maduración radial. Cada mitad representa a un grupo determinado de manzanas, con 10 índices de madurez cada uno, como se ve en el gráfico siguiente.

Otro punto a tener en cuenta es la evolución de la maduración en las diferentes variedades, sumado a su vez a condiciones climáticas, sanitarias o regionales, que pueden hacer variar el patrón de acumulación o degradación del almidón. A continuación se transcribe una tabla con los momentos óptimos de cosecha para cada variedad.



Solución de lugol

De acuerdo a lo recomendado por la Unión Europea, el reactivo se prepara:

- Sol. de lugol al 1 % p/v ó
- Sol. de yoduro de potasio al 4 % p/v

El reactivo debe ser guardado en la oscuridad, y ser reemplazado cada 3 meses.

Procedimiento

Se toma cada manzana elegida, y se le realiza un corte transversal (ecuatorial). A una de las mitades se le aplica el reactivo con un algodón, pincelando o con un rociador, por aproximadamente 10 segundos. Se deja secar por lo menos 5 a 10 minutos al aire o boca abajo en un papel absorbente.

Una vez que están las muestras secas, se coteja con las tablas, y se realiza un promedio ponderado.

A continuación se transcriben las tablas para la determinación del índice de almidón de acuerdo a CTIFL.

type Circulaire (C) Circular type (C)

1C : légère décoloration centrale
Slight central discolouration



2C - 3C - 4C : décoloration centrale, de la pièce de monnaie au "trèfle à 5 feuilles"
central discolouration, from "coin" to "5-leaved clover"



5C - 6C - 7C : décoloration centrale croissante et taches dans la périphérie
increasing central discolouration with peripheral spots



8C - 9C - 10C : décoloration croissante de la périphérie
increasing peripheral discolouration



type Radial (R) Radial type (R)

1 R : légère décoloration centrale
Slight central discolouration



2 R - 3R - 4R : décolorations radiales croissantes
Increasing radial discolourations



5R - 6R - 7R : décoloration centrale croissante et fissuration de la périphérie
Increasing central discolouration with peripheral cracks



8R - 9R - 10R : décoloration croissante de la périphérie
increasing peripheral discolouration.



4.5.3 Índice de sólidos solubles

Los azúcares junto con los ácidos son los dos principales sustratos respirables en los frutos. Tanto los azúcares, como los ácidos orgánicos se encuentran secuestrados en las vacuolas. En los que respecta a la composición, los tres más abundantes son glucosa, sacarosa y fructosa. Las proporciones y concentraciones individuales de cada uno varían dependiendo de las especies, variedades y a su vez de las combinaciones estiónicas utilizadas para la producción de las plantas.

Los azúcares provienen de la fotosíntesis de las plantas y hacia los frutos, se traslocan en forma de sacarosa, y en ciertos casos se acumula en forma de almidón (caso de la manzana, pera, kiwi, etc.). La fotosíntesis realizada por los frutos es baja y contribuye en escasa medida a la acumulación de azúcares. Otros frutos concentran los azúcares traslocados hasta el final de la maduración, como es el caso de la vid, que mantiene su conexión floemática hasta el final del proceso.

Durante el proceso de maduración, sea por traslocación desde la planta o por la hidrólisis del almidón presente en los frutos, el contenido de azúcares simples aumenta progresivamente hasta alcanzar la maduración organoléptica. Luego durante la postcosecha, los azúcares son respirados por los frutos, por lo que comienza el proceso inverso, en el cual su contenido disminuye.

Los azúcares constituyen la mayor parte de los sólidos solubles presentes en el jugo de las frutas, por lo que su determinación constituye un buen estimador. Ácidos orgánicos, aminoácidos, compuestos fenólicos y pectinas solubles contribuyen al contenido de SS, aunque se encuentran en proporciones inferiores al de los azúcares.

El contenido de SS se determina con refractómetro, el cual puede ser digital o analógico (Figura 6). El proceso de determinación consiste en poner una gota del jugo, y se observa en la escala graduada en grados Brix (1 ° Brix equivale a 1 gramo de sólido soluble cada 100 gramos de solución).

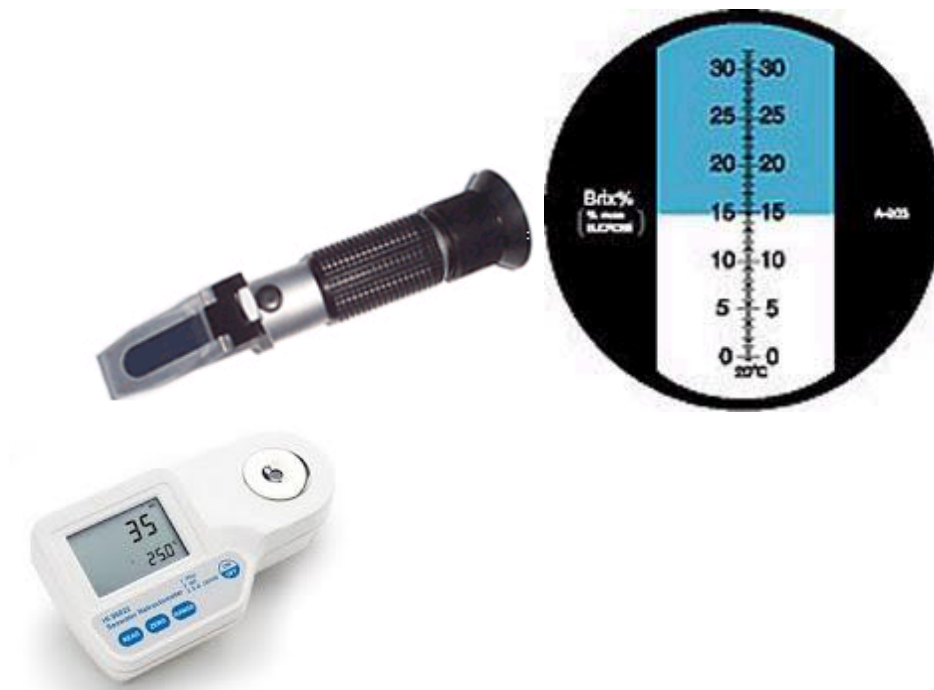


Figura 6. Refractómetros. Ejemplo de un refractómetro analógico con su escala y uno digital.

Calibración

Para calibrar el aparato (Atención: los instrumentos nuevos vienen calibrados de fábrica), se deberán medir soluciones patrones: agua destilada (0° Brix) y soluciones de concentración conocida de sacarosa. Los refractómetros manuales tienen un tornillo que permite modificar el nivel de la escala, calibrando el aparato.

Ejemplo con 25% BRIX % Brix	g Sacarosa	g Agua destilada	g Total
25	25,000	75,000	100,000

4.5.4 Relación Sólidos Solubles / Acidez Total Titulable (RATIO)

El sabor de los frutos constituye un apartado adicional al proceso de maduración y es determinado por pruebas organolépticas, que evalúan en conjunto las diferentes características de apariencia, firmeza, color, sabor astringencia, etc. Sin embargo tanto los azúcares como los ácidos determinan fundamentalmente el sabor de los frutos. Como se ha mencionado anteriormente, el contenido de sólidos solubles aumenta con el proceso de maduración, mientras que la acidez total titulable disminuye. Este efecto contrapuesto puede ser evaluado a partir de la relación de sólidos solubles sobre la acidez total titulable y se denomina comúnmente RATIO. En función de la evolución de los dos factores que lo determinan (SS↑ y ATT↓), el RATIO aumenta durante la maduración.

El RATIO es el cociente entre el % de sólidos solubles (expresado como ° Brix = % S.S.) y la acidez total titulable, también en % (expresada en gramos de ácido cada 100 ml. de jugo). Para obtener la ATT en % se debe dividir el valor hallado en la titulación por 10. El resultado del valor obtenido de RATIO es adimensional, ya que expresa la cantidad de azúcares por unidad de ácido.

$$\frac{\text{..... \% SS}}{\text{..... \% ATT}} = \text{.....}$$

4.5.5 Porcentaje de Jugo

Es una característica de los cítricos y una cualidad muy apreciada por los consumidores. La acumulación de jugo en los pelos celulares se da durante la fase II de crecimiento del fruto que aumentan considerablemente de volumen y en la fase III se producen los cambios que dan lugar a las características organolépticas. El portainjerto y las condiciones ambientales y culturales influyen fuertemente sobre este índice.

- Porcentaje de jugo: Es la razón entre los ml. de jugo y el peso de los frutos, expresado en por ciento.

$$\frac{\text{Vol. de jugo (ml.)}}{\text{Peso de fruta (gr.)}} \times 100 = \text{..... \% de jugo}$$

Con dicho cálculo, se asume que la densidad del jugo es de 1 gr./ml. Sería más adecuado corregir el volumen, multiplicando su volumen por la densidad del líquido. Para su determinación se requiere de un densímetro, corrigiendo la lectura de acuerdo a la temperatura del jugo.

4.5.6 Contenido de aceite y materia seca

El contenido de aceite es un índice que explica la maduración de paltas y aceitunas. Sin embargo su determinación es muy laboriosa, por lo que se ha recurrido al contenido de materia seca. Ambos parámetros, aceites y materia seca, presentan una alta correlación, por lo que se recomienda la determinación de la segunda.

4.6 Índices Morfológicos

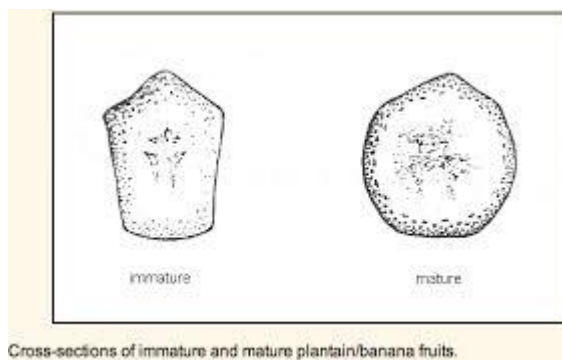
4.6.1 Suberificación de lenticelas

Usado como índice complementario en pera Williams. A medida que avanza la madurez, las lenticelas comienzan a suberificarse, impidiendo el intercambio gaseoso y la posterior deshidratación.

4.6.2 Forma del fruto

La forma del fruto en ciertos casos es un buen índice de maduración. Este es el caso de la banana, cuya sección transversal pierde sus aristas a medida que va madurando, hasta quedar de forma casi circular. En el mango se observa el crecimiento de mejillas u hombros que se van llenando, siendo un índice complementario.

En el caso de la manzana, la forma no constituye un índice de maduración per se, pero si determina la calidad de la fruta. Una deficiente polinización de los cinco lóculos da como resultado frutos deformes, que se deprecian comercialmente.



4.7 Índices organolépticos

Los sabores y aromas son determinados por una gran cantidad de sustancias, que combinadas producen un aroma o sabor característico. Como es el caso de la manzana, durante el proceso de maduración, se liberan más de 150 sustancias diferentes, entre las cuales sólo algunas impactan sobre los sentidos del olfato y gusto.

La determinación del sabor y el aroma es subjetiva, ya que los encargados de determinar las diferentes características son evaluadores. Estos paneles de evaluadores pueden ser entrenados o semientrenados. Determinan características que pueden ser evaluadas por medio de los sentidos, como pueden ser visuales (color), gustativas (dulzor, amargor o astringencia por presencia de taninos), olfativas (aromas típicos en manzanas, bananas) o de texturas, tanto al tacto como al paladar. Las características pueden ser variadas y se les asigna un puntaje a cada una. Son muy utilizados a la hora de elaborar un nuevo producto y ver su aceptabilidad por el público consumidor.

A continuación, se enumeran los principales índices de maduración que se utilizan en los distintos frutales (Adaptado de Kader A.A., 1999):

Fruta	Condiciones mínimas de maduración
Manzana	Edad del fruto, patrón de almidón, 10,5 a 12,5 % de SS y por debajo de 18 a 23 lbs-fuerza de firmeza (dependiendo del cultivar)
Damasco	Color de superficie: >3/4 de color amarillento verde ó <1/2 de color amarillo
Palta	17 a 20,5 % de peso seco (dependiendo del cultivar)
Cereza	Superficie completa del fruto con un rojo claro y 14 a 16 % SS (dependiendo del cultivar)
Vid de mesa	14 a 17,5 % de SS (dependiendo del cultivar y la zona de producción) o un RATIO de 20 o mayor
Pomelo	RATIO 5,5 a 6 y 2/3 de la superficie del fruto con color amarillo
Kiwi	6,5 % SS
Limón	30 % de jugo en volumen
Duraznos y pelones	Color de fondo cambiando de verde a amarillo, y forma de la sutura y los hombros completa
Naranja	RATIO de 8,0 (25% de color anaranjado en la superficie del fruto) ó 10,0 (color un poco menos intenso)
Pera	Color verde-amarillento y/o 23 lb-fuerza y/o por encima del 13 % de SS

Dr Gustavo E Gergoff Grozeff

A modo de ejemplo se citan datos de maduración de manzana Red Delicious para el Valle Medio del Río Negro para la cosecha 2019. (Fuente: Calvo y Colodner, 2019).

ESTADO DE MADUREZ EN MANZANAS RED DELICIOUS Y CLONES

Esta variedad tiene fecha tentativa de cosecha a partir del 07 de febrero para Valle Medio y 12 de febrero para Alto Valle.

En **Alto Valle**, con 173 días de edad del fruto, los valores promedio de los índices de madurez para los lotes muestreados fueron los siguientes:

- *Calibre: 73,6 mm (65,7 - 79,0)*
- *Firmeza de la pulpa: 16,3 libras (15,7- 17,2)*
- *Contenidos Sólidos Solubles: 13,1%*
- *Acidez Total Titulable: 2,1 gramos ácido málico/litro*
- *Degradación del Almidón: 74,7 % (71,1 – 78,0 %)*
- *Color de Cobertura: 80,0%*

5. Bibliografía recomendada

- Baldry, J. y Dougan, J., 1982. Chemical analysis and taste panel evaluation of the fruit quality of Valencia late oranges. *J. Hort. Sci.* 114. 932-936
- Benitez, C.E. Maduración y cosecha de peras y manzanas. Boletín de divulgación técnica N° 27. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Regional Agropecuaria Alto Valle de Río Negro.
- C.T.I.F.L., 2002. Pomme. Code amidon. Aide à la décision de récolte. Ctifl juillet 2002.
- Campana, B.M.R., 2007. Índices de madurez, cosecha y empaque de frutas. Capítulo 21. En: *Árboles frutales. Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Ed. G. Sozzi. pp. 707-768
- Calvo, G. y Colodner, A.D., 2019. Resultados de los muestreos del 18 y 19 de marzo de 2019. Boletín de Madurez N° 13 - Temporada 2018-2019. Área de Poscosecha de la EEA Alto Valle.
- Kader, A.A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Proc. Int. Symp. on Effect of Pre- and Post Harvest factors on storage of Fruit*. Ed. L. Michalczuk. *Acta Horticulturae* 485: 203-208
- Kidd, F. & West, C. 1925. The course of respiratory activity throughout the life of an apple. *Report of the Food Investigation Board, London, UK, for 1924* pp. 27-33.
- Mitcham, B., Cantwell, M. & Kader, A. 2003. Methods for determining quality of Fresh Commodities. *Perishbles Handling Newsletter* Issue No. 85.
- Palacios, Jorge. 2005. *Citricultura Moderna*. Capítulo 13. Factores que hacen a la producción y calidad Ed. Alfa Beta, C.A.B.A. Argentina pp. 281-310.
- Sozzi, G., 2007. Fisiología de la maduración de los frutos de especies leñosas. Capítulo 20. En: *Árboles frutales. Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Ed. G. Sozzi. pp. 669-687
- Yang, S.F. and Hoffman, N.E., 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 35: 155-189

Este trabajo fue preparado y actualizado por Dr Gustavo E Gergoff Grozeff

Actividades a desarrollar en el Trabajo Práctico de Índices de Maduración

Índices de Maduración en Manzana

Marcha analítica

* Especie (nombre científico y común):

* Variedad:

* Peso de la muestra: Se toma una determinada cantidad de frutos y se pesa en balanza, con precisión del gramo.

Peso de “.” (cantidad) frutas : gramos

Firmeza de la Pulpa

Presión de la fruta 1 : lado a lado b lado c

Presión de la fruta 2 : lado a lado b lado c

Presión de la fruta 3 : lado a lado b lado c

Presión de la fruta “n” : lado a lado b lado c

Promedio de todas las mediciones:

Índice de almidón

Variedad “R” (. . .) ó “C” (. . .)

Fruto 1 =

Fruto 2 =

Fruto 3 =

Fruto 4 =

$$\text{Promedio} = \frac{\dots + \dots + \dots + \dots}{4} = \dots\dots\dots \text{“} \dots \text{”}$$

Índices de Maduración en Cítricos

Marcha analítica de frutos cítricos

* Especie (nombre científico y común):

* Variedad:

* Peso de la muestra:

Peso de la fruta: gramos

Porcentaje de Jugo

Volumen de jugo: (mililitros)

- Porcentaje de jugo: Es la razón entre los ml. de jugo y de peso de los frutos, expresado en por ciento.

Vol. de jugo (ml.)
----- x 100 = % de jugo
Peso de fruta (gr.)

Índice de sólidos solubles

El procedimiento descrito para manzana se aplica para la determinación de sólidos solubles en cítricos.

S. S.(sin corregir) = %

Temperatura del jugo = °C

S. S. Corregido Temp. del jugo = SS (sin corregir) % (+/-) (factor) =
..... % SS

Índice de Acidez Total Titulable

$$\text{ATT} = \frac{\text{ml. álcali Na(OH)} \times \text{Normalidad álcali} \times \text{factor del ácido en meq.}}{\text{ml. de jugo}} \times 1000 =$$

$$\text{ATT} = \frac{\dots\dots\dots \text{ml.} \times \dots\dots\dots \text{.N} \times 0,064 \text{ meq.}}{\dots\dots\dots \text{ml. de jugo}} \times 1000 =$$

$$\text{ATT} = \dots\dots\dots \text{gr. de ácido cítrico/1000 ml. de jugo}$$

Relación Sólidos Solubles / Acidez Total Titulable (RATIO)

De la misma manera que para manzana, ambos datos deben ser expresados en porcentaje.

$$\frac{\dots\dots\dots \% \text{ SS}}{\dots\dots\dots \% \text{ ATT}} = \dots\dots\dots$$