

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO Y
DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN LA FRACCIÓN
AÉREA DE NARANJA 'VALENCIA TARDÍA'**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
HORTICULTURA**

P R E S E N T A:

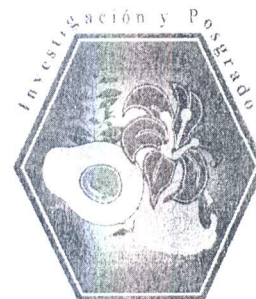
HILARIO CRUZ HUERTA.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Chapingo, México, mayo 2004.

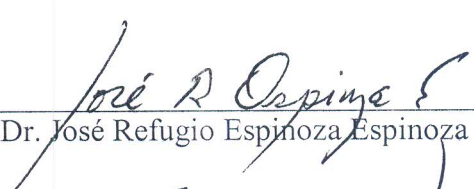


CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN LA FRACCIÓN AÉREA DE NARANJA 'VALENCIA TARDÍA'

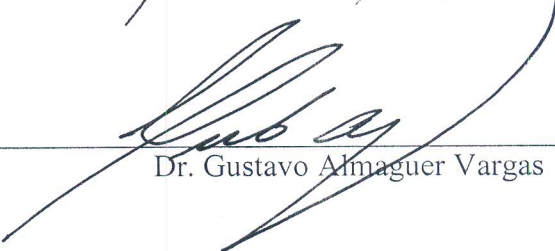
Tesis realizada por HILARIO CRUZ HUERTA bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

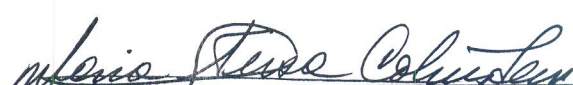
DIRECTOR


Dr. José Refugio Espinoza Espinoza

ASESOR


Dr. Gustavo Almaguer Vargas

ASESOR


Dra. María Teresa Colinas León

DEDICATORIA

A mis padres Aristeo Cruz Guzmán y Concepción Huerta Posadas por motivarme a ser cada día mejor

A mis hermanos Francisco, Gildardo, Elizabeth y Maricela por el apoyo desinteresado que siempre me han brindado.

A mi esposa Blanca Maricela Martínez Pérez e hijo Hilario Cruz Martínez por ser la fuente de motivación y superación personal.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Consejo de Posgrado, por darme la oportunidad de cursar la Maestría en Ciencias en Horticultura.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por apoyarme con el financiamiento durante mis estudios

Al Dr. José Refugio Espinoza Espinoza, por su excelente dirección en la investigación, financiamiento y redacción de tesis.

Al Dr. Gustavo Almaguer Vargas y a la Dra.. María Teresa Colinas, Por sus valiosas observaciones en la revisión de la tesis

A los compañeros de la Maestría en Ciencias en Horticultura generación 2002-2003, por compartir conocimientos, experiencias y amistad.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor del presente trabajo es originario de la Congregación El Cabellal, Municipio de Martínez de la Torre, Veracruz. De 1985 a 1992 cursó la carrera de licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo. De 1993 al 2000 trabajó en la dependencia federal Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). y durante el 2001 en la dependencia estatal Secretaría de Desarrollo Regional (SEDERE), en el estado de Veracruz.

CONTENIDO		PÁGINA
I. INTRODUCCIÓN		1
1.1. OBJETIVOS		2
1.2. HIPÓTESIS		3
II. REVISIÓN DE LITERATURA		4
2.1. Importancia de la naranja		4
2.1.1. Importancia mundial de la producción de naranja		4
2.1.2. Importancia nacional de la producción de naranja		4
2.2. Fenología de la naranja cv Valencia Tardía		5
2.2.1. Crecimiento vegetativo		5
2.2.2. Diferenciación floral		7
2.2.3. Floración		8
2.2.4. Amarre de frutos y crecimiento		9
2.3. Análisis del crecimiento		11
2.4. Modelos Matemáticos		13
2.4.1. Estimación de la variable dependiente		14
2.4.2. Identificación de las variables independientes		14
2.4.2.1. Criterios para seleccionar las variables independientes		15
2.4.3. Criterios para seleccionar los modelos		15
2.4.4. Modelos matemáticos en frutales		16
2.4.4.1. Estimación de requerimientos y satisfacción de frío		16
2.4.4.2. Estimación de la fecha, tamaño final y volumen de la cosecha de frutos		17
2.4.4.3. Estimación de peso fresco y seco de ramas de durazno		17
2.4.4.4. Estimación de la biomasa de órganos aéreos de plantas de manzana		18
III. MATERIALES Y MÉTODOS		19
3.1. Sitio de estudio		19
3.2. Material vegetal		19
3.3. Selección de los árboles		19
3.4. Manejo de los árboles en estudio		19
3.4.1. Poda		19

3.4.2. Fertilización	19
3.4.3. Control de malezas	20
3.4.4. Control de plagas y enfermedades	20
3.5. Ramas	20
3.6. Identificación y marcado de ramas, frutos y hojas	21
3.7. Clima	21
3.7.1. Temperatura	21
3.7.2. Precipitación	21
3.8. Variables morfológicas	21
3.8.1. Diámetro	22
3.8.2. Longitud	22
3.8.3. Número de hojas	22
3.8.4. Volumen calculado por formulas	22
3.8.5. Número de flores	22
3.8.6. Diámetro polar y ecuatorial	23
3.9. Biomasa de ramas, frutos y hojas y área de hojas	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Variables ambientales	24
4.1.1. Temperatura	24
4.1.2. Precipitación	25
4.2. Variables morfológicas	26
4.2.1. Diámetro basal	26
4.2.2. Longitud	29
4.2.3. Número de hojas	31
4.2.4. Crecimiento de frutos	36
4.3. Modelos para estimar biomasa de ramas, frutos y hojas y área de hojas	37
4.4. Biomasa de ramas y frutos	40
V. CONCLUSIONES	47
VI. LITERATURA CITADA	48

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
Cuadro 1. Principales países productores de naranja a nivel mundial.	4
Cuadro 2. Escala usada para la evaluación de la dureza de ramas de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz.	20
Cuadro 3. Pomedios mensuales de datos metereológicos de El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Febrero 2002-marzo 2003.	24
Cuadro 4. Diámetro basal promedio de ramas de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	28
Cuadro 5. Longitud promedio de ramas de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	30
Cuadro 6. Número de hojas individuales de ramas de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	33
Cuadro 7. Número total de hojas de ramas de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	35
Cuadro 8. Diámetros ecuatorial y polar promedio de frutos de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	36
Cuadro 9. Modelos matemáticos para estimar biomasa de ramas de varios grados de dureza, frutos, hojas y área de hojas de naranja ‘Valencia Tardía’.	38
Cuadro 10. Valores de la R^2 parciales de las variables independientes de los modelos seleccionados para estimar la biomasa de las ramas de varios grados de dureza, frutos y hojas y área de hojas de naranja ‘Valencia Tardía’.	39
Cuadro 11. Biomasa total de ramas y frutos de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	42
Cuadro 12. Biomasa individual de ramas y frutos de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Temperatura promedio mensual de El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Febrero 2002-marzo 2003.	25
Figura 2. Precipitación mensual de El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Febrero 2002-marzo 2003.	26
Figura 3. Diámetro basal promedio de ramas de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	27
Figura 4. Longitud promedio de ramas de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	31
Figura 5. Hojas individuales de ramas de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	32
Figura 6. Número total de hojas de ramas de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	34
Figura 7. Diámetros polar y ecuatorial promedio de frutos de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	36
Figura 8. Biomasa total de ramas y frutos de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	41
Figura 9. Biomasa individual de ramas y frutos de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.	44

CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN LA FRACCIÓN AÉREA DE NARANJA 'VALENCIA TARDÍA'

RESUMEN

Es indispensable estudiar el crecimiento y distribución de biomasa en la fracción aérea de árboles de naranja cv. Valencia Tardía para conocer la manera en que crecen las plantas y la respuesta de éstas ante los efectos del ambiente, y así programar un manejo adecuado de las plantaciones y elevar la productividad. El estudio se realizó en El Cabellal, Municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, que presenta un clima cálido húmedo. Se caracterizaron tres árboles representativos de 15 años de edad, injertados sobre naranjo agrio (*Citrus aurantium*). Tres árboles adicionales se usaron para generar modelos matemáticos que estiman la biomasa de ramas, frutos y hojas y área de hojas. Las ramas, hojas y frutos se midieron y contaron cada 45 días desde la brotación vegetativa hasta la cosecha de frutos. Las ramas de aparición reciente (dureza 1) crecieron más en longitud, mientras que las ramas estructurales (dureza 4) engrosaron más y acumularon mayor cantidad de biomasa por órgano total; sin embargo, individualmente, los frutos acumularon más biomasa que las ramas durante la estación del crecimiento. En los modelos matemáticos generados por regresión, el volumen calculado, el diámetro ecuatorial y ancho de lámina en ramas, frutos y hojas respectivamente, fueron las variables independientes que más contribuyeron a la estimación de los modelos en sus formas lineal y cuadrática, estimando con alta precisión la biomasa ($R^2 > 0.95$). Los patrones de acumulación y distribución de biomasa en árboles de naranja cv. Valencia Tardía fue el siguiente: ramas de dureza 4 > (12968.7 g, 54.10 %) > frutos (7385.7 g, 30.81 %) > ramas de dureza 3 (2676.9 g, 11.16 %) > ramas de dureza 2 (779.6 g, 3.25 %) > ramas de dureza 1 (160 g, 0.66 %).

Palabras claves: dureza, ramas, frutos, hojas, modelos matemáticos

CHARACTERIZATION OF THE GROWTH AND BIOMASS DISTRIBUTION OF THE AERIAL FRACTION OF CV. VALENCIA LATE ORANGE TREES.

ABSTRACT

It is necessary to study the growth and biomass distribution of the aerial fraction of cv. Valencia Late orange trees in order to obtain knowledge about the way these trees grow and about their response to the surrounding environment to be able to program appropriate management of orchards and increase yields. This study was carried out in El Cabellal, in the municipality of Martínez de la Torre, in Veracruz state, in a hot, humid climate. Three fifteen-year-old trees were characterized and were grafted on to sour orange trees (*Citrus aurantium*). Three additional trees were used to generate mathematical models to estimate leaf size and the biomass of branches, fruit and leaves. The branches, leaves and fruit were measured and counted every 45 days from the moment that any new bud appeared until fruit harvest. The new branches that appeared (hardness 1) grew more in length, while the structural ones (hardness 4) became thicker and accumulated more biomass than all the other branches (hardness 1, 2 and 3) and their fruit in total; however, individually, the fruit accumulated more biomass than the branches during the growing season. For the mathematical models generated by regression, calculated volume, equatorial diameter and blade width, in branches, fruit and leaves, respectively, the independent variables were the ones that contributed the most to the estimation of the models in their linear and quadratic forms, estimating biomass with high precision ($R^2 > 0.95$). The biomass accumulation and distribution patterns in cv Valencia Late orange trees is as follows: hardness 4 branches (12968.7 g, 54.1 %) > fruit (7385.7 g, 30.81 %) > hardness 3 branches (2676.9 g, 11.16 %) > hardness 2 branches (779.6 g, 3.25 %) > hardness 1 branches (160 g, 0.66 %).

Key words: hardness, branches, fruit, leaves, mathematical models.

I. INTRODUCCIÓN

México ocupó el tercer lugar en la producción de naranja a nivel mundial en el año 2001 con 3,500,000 ton (FAO, 2001). A nivel nacional, la naranja ocupa el segundo lugar en superficie cultivada de frutales, con 205,746 ha. Veracruz cuenta con 91,345 ha plantadas con naranja, siendo el principal Estado productor (SAGARPA, 2002). El 90 % (87815 ha) de la naranja que se produce en el Estado de Veracruz es del cultivar Valencia Tardía (Curti, 1990).

Debido al hábito de floración de la naranja y a la homogeneidad de los genotipos cultivados y del clima, el 60 % de la producción se concentra de enero a mediados de abril, y en un 25 % de mediados de octubre a diciembre (principalmente de cultivares de maduración temprana); el resto del año, con excepción de algunas producciones “aventureras” (mayo y/o agosto), la fruta es escasa (Curti, 1989).

Los cítricos se cultivan en ambientes variados y se sabe que sus procesos fisiológicos (la fotosíntesis, la respiración y la distribución de fotoasimilados, entre otros) son afectados por los factores ambientales. Así que bajo un determinado régimen de temperatura, humedad y radiación solar, el crecimiento, producción, distribución y gasto de carbohidratos tendrán un comportamiento específico (Almaguer, 1994).

Conocer la caracterización del crecimiento y distribución de biomasa en la fracción aérea de plantas fructificantes de naranja cv. Valencia Tardía en un ambiente cálido-húmedo es indispensable para lograr un conocimiento profundo y detallado sobre la manera en qué crecen las plantas y la respuesta de éstas ante los efectos del ambiente. La producción de biomasa esta íntimamente ligada a la capacidad fotosintética que tienen las plantas y es función de varios factores tanto ambientales como de otros relacionados con la estructura y función de sus órganos (Espinoza, 2000).

Aunque se tiene información sobre el comportamiento vegetativo y reproductivo de las plantas de naranja 'Valencia Tardía' cultivadas en el ambiente cálido húmedo de la región de Martínez de la Torre, Veracruz (Cruz, 1993), no se ha hecho una caracterización cuantitativa del crecimiento de las ramas, de las hojas, de los flujos de floración, de la cantidad de frutos que amarran, de su crecimiento y de la distribución de la biomasa en estos órganos aéreos, que permitan conocer las relaciones fuente-demanda que se dan entre ellos y la relación que se establece entre el comportamiento del ambiente (y sus periodos con factores desfavorables, como la baja temperatura y la escasa precipitación) y el crecimiento de las plantas en sus diferentes etapas fenológicas durante el año.

Es así como se plantea la realización del presente trabajo, con el fin de generar información que permita establecer un modelo que sirva de base cognoscitiva para lograr un manejo adecuado de las plantaciones (podas, fertilizaciones, control de plagas y enfermedades y desfaseamiento de cosecha, etc) a fin de elevar la productividad.

1.1. OBJETIVOS

- 1.1.1. Caracterizar el crecimiento anual de la fracción aérea de plantas de naranjo cv. Valencia Tardía en un ambiente cálido húmedo.
- 1.1.2. Determinar el patrón de distribución de la biomasa en la fracción aérea de plantas de naranjo cv. Valencia Tardía en un ambiente cálido húmedo.
- 1.1.3. Generar modelos matemáticos por regresión, que estimen con alta precisión la biomasa de ramas, frutos, hojas y área de hojas de naranja cv. Valencia Tardía.

1.2. HIPÓTESIS

- 1.2.1. Las ramas menos lignificadas, de aparición reciente, se alargan más que ramas de años anteriores, de mayor dureza más avanzada.
- 1.2.2. Las ramas de los años anteriores acumulan mayor cantidad de biomasa que las ramas jóvenes de aparición reciente.
- 1.2.3. Los frutos son los órganos aéreos que acumulan mayor cantidad de biomasa por órgano individual durante la estación de crecimiento.
- 1.2.4. Las ramas de dureza 4 son los órganos aéreos que acumulan la mayor cantidad de biomasa por órgano total durante la estación del crecimiento.
- 1.2.5. Las ramas de dureza mas avanzada crecen mas en grosor que las ramas de aparición reciente.
- 1.2.6. En conjunto, las ramas estructurales (dureza 4) acumulan más biomasa que los frutos en plantas de naranja cv. Valencia Tardía en un ambiente cálido húmedo.
- 1.2.7. Los modelos matemáticos por regresión estiman con alta precisión la biomasa de las ramas, frutos, hojas y área de hojas de la naranja cv. Valencia Tardía.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la naranja

2.1.1. Importancia mundial de la producción de naranja

La producción mundial de naranja es de 54,880,000 ton, que se obtienen en una superficie de aproximadamente 2 millones de hectáreas. La naranja se cultiva en 60 países de los 5 continentes del mundo (FAO, 2001).

Cuadro 1. Principales países productores de naranja a nivel mundial

PAÍS	PRODUCCIÓN (ton)
Brasil	17,136,000
Estados Unidos de América	10,494,300
México	3,500,000
India	3,000,000
China	2,875,600
España	2,708,800
Italia	1,876,300

Fuente: FAO (2001).

2.1.2. Importancia nacional de la producción de naranja

SAGARPA (2002) menciona que la naranja es la fruta mas importante después del café, por la superficie cultivada, de 205,746 ha, con un volumen de la producción de 2,109,575 ton, con un rendimiento promedio nacional de 10.7 ton·ha⁻¹. La naranja se cultiva en 27 Estados de la Republica Mexicana, destacando por su superficie cultivada Veracruz (45 %, 91345 ha), San Luis Potosí (18 %, 35194 ha), Tamaulipas (14 %, 27609 ha) y Nuevo León (13 %, 25447 ha), que en conjunto representan el 90 % de la superficie total plantada con naranja (SAGARPA, 2002).

El promedio de rendimiento de Veracruz es de $13.4 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, el cual supera al rendimiento promedio nacional que es de $10.7 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ (SAGARPA, 2002). De esta actividad agrícola dependen en Veracruz más de 12,000 familias (el 55 % ejidatarios y el 45 % pequeños propietarios) y se generan alrededor de 5 millones de jornales anuales durante el proceso de producción y cosecha (Curti, 1990).

El área naranjera de Veracruz se localiza en la región Norte-Centro del Estado, donde los principales municipios productores son: Álamo (33,038 ha), Martínez de la Torre (28,044 ha), Gutiérrez Zamora (14,038 ha), Tihuatlán (9,738 ha), Tuxpan (5,038 ha), Tecolutla (4,638 ha) y Papantla (3,038 ha), que en conjunto representan el 94 % de la superficie estatal (Curti, 1990).

2.2. Fenología de la naranja cv Valencia Tardía

2.2.1. Crecimiento vegetativo

Frómata (1976) menciona que las ramas de una planta crecen en longitud gracias a la actividad del meristemo apical y en grosor por la actividad del cambium.

Sauer (1951) clasificó cinco tipos de brotes en naranjo: 1) brotes con flores pero sin hojas; 2) con flores y con pocas hojas pequeñas; 3) con varias flores y varias hojas grandes; 4) con hojas y una sola flor (terminal), y 5) brotes vegetativos; encontró también que las inflorescencias con hojas son mucho más eficientes en la producción de frutas que aquellas sin hojas.

En los meses de noviembre a enero se presenta un periodo de detención del crecimiento ocasionado por las temperaturas relativamente bajas ($17.7\text{--}19.9^\circ \text{C}$), por efecto de los nortes. Esas condiciones provocan que en los meses de febrero a marzo inicie el primer flujo anual de crecimiento vegetativo de los árboles de naranja, y recibe el nombre de “del tiempo”.

En los meses de febrero a mayo se presenta un estrés hídrico (sequía), con bajas precipitaciones (66.3 mm) y temperaturas promedio mensuales relativamente altas (24.9° C) que inhiben el crecimiento vegetativo (detención del crecimiento). Es posible que la tasa de fotosíntesis, así como la del crecimiento sea muy baja debido al cierre de estomas provocado por la sequía (Espinoza, 2000). Esas condiciones favorecen que en junio-julio se inicie el segundo crecimiento vegetativo llamado “mayero”, siempre y cuando se presente lluvia en junio-julio.

En el mes de agosto se presenta un estrés hídrico (sequía), con una precipitación promedio baja en el periodo de 39.1 mm y temperatura promedio mensual alta (27.5° C), que provoca una detención del crecimiento. Esa condición favorece que en el mes de septiembre se inicie el tercer crecimiento vegetativo, llamado “agostero”, siempre y cuando llueva en septiembre.

Mchedlidze (1967) menciona que el crecimiento vegetativo en los cítricos se estimula o se frena por la influencia de la temperatura, que determina la longitud de los brotes. A una temperatura de 25° C el crecimiento se mantiene activo, pero a 19° C se reduce en todos los órganos de la planta; se ha determinado que para el crecimiento de naranjos las temperaturas mínimas son de 12.8° C (Aranguren, 1996).

En las zonas tropicales donde la temperatura es óptima para el crecimiento, el suministro de agua es fundamental y su falta causa una disminución en el crecimiento vegetativo; por esta razón, el comienzo de las lluvias o el riego determinan el inicio de la actividad vegetativa en regiones con periodos mas o menos largos de sequía (Reuther y Ríos-Castaño, 1969).

2.2.2. Diferenciación floral

La diferenciación floral se define como la transformación del meristemo vegetativo a un eje potencialmente reproductivo (Rapport y Sachs, 1979, citados por Pimienta, 1985). Randhawa y Dinsa (1947, citados por Ayalon y Monselise 1960) reconocen el estado de iniciación cuando el domo de la yema se aplanan, como la primera evidencia de la diferenciación morfológica.

En cítricos es difícil detectar el cambio de primordio vegetativo a primordio floral. No es si no hasta la aparición del tercer o cuarto sépalo que el ápice se ensancha lo suficiente para ser diferenciado de un ápice meristemático vegetativo (Lord y Eckard, 1985). La diferenciación de yemas florales en cítricos ocurre en cualquier estación del año en que haya una detención del crecimiento, causada por condiciones desfavorables y de un periodo suficientemente largo para acumular reservas alimenticias (Abbot, 1935).

El proceso de diferenciación floral es rápido en frutales tropicales y tarda dos meses en cítricos (Monselise y Halevy, 1964).

La temperatura es el factor ambiental que afecta en mayor grado la inducción floral de los cítricos, de tal manera que temperaturas inferiores a 25° C durante cuatro semanas, en un periodo de detención del crecimiento, incrementan la inducción floral (Becerra, 1985).

En la naranja cv. Valencia Tardía se da la primera diferenciación floral en el periodo invernal, y es inducida por las temperaturas relativamente bajas de noviembre a enero (17.7-19.9° C), causadas por los “nortes” y por la detención del crecimiento que éstos causan (Almaguer *et al.*, 1992).

La segunda diferenciación floral se presenta en el periodo de marzo a junio, y es inducida por un estrés hídrico que se da en ese periodo con una precipitación promedio

mensual de 98.4 mm y temperaturas promedios mensuales relativamente altas de 27.2 ° C, que provocan una detención del crecimiento.

La tercera diferenciación floral se presenta alrededor de agosto, la cual es inducida por un estrés hídrico, con una precipitación mensual baja (39.1 mm) y temperatura promedio mensual relativamente alta (27.5° C) que se presentan en el mes de agosto (canícula) provocando una detención del crecimiento.

2.2.3. Floración

Las yemas florales pasan por diferentes fases durante su desarrollo; cuando alcanzan alrededor de 1.5 mm de longitud (fase de botón verde o cabeza de alfiler); cuando se alcanzan de 3 a 4 mm se separan las puntas de los sépalos y se pueden ver los pétalos; cuando alcanzan de 5 a 6 mm los botones son achatados (fase de botón blanco), alargándose a medida que se desarrollan hasta lograr una forma redondeada para tomar una forma ovalada al momento de abrirse (Frómeta, 1976).

La floración en cítricos se da después de que las yemas se diferencian en yemas florales que se encuentran en las axilas de las hojas de las ramas jóvenes, inducidas por factores ambientales favorables como son la elevación de la temperatura invernal y el incremento de la precipitación después de una sequía. Una yema axilar da origen a una o varias flores, con tiempos variables entre la inducción y apertura (Frómeta, 1976).

La naranja cv. Valencia Tardía presenta la principal floración (más abundante) del año en febrero-marzo y corresponde con la brotación llamada del tiempo. Esta floración es inducida por los factores ambientales favorables como son la elevación de la temperatura invernal (febrero-marzo) y la precipitación ocasionada por los nortes.

La segunda floración del año se presenta en junio-julio. Esta floración (“mayera”) es inducida por factores ambientales favorables como son la elevación de la precipitación

en los meses de junio y julio. Esta floración pocas veces se presenta o es de baja intensidad debido a que la floración “del tiempo” (febrero–marzo) es la más intensa y consume los carbohidratos para mantener los frutos del tiempo (Almaguer *et al.*, 1992).

La tercera floración del año de la naranja cv. Valencia Tardía (“agostera”) se presenta en septiembre-octubre y es inducida por los factores ambientales favorables como son la elevación de la precipitación en el mes de septiembre-octubre. Esta floración, al igual que la floración “mayera”, pocas veces se presenta, por la abundante floración y fructificación de la “del tiempo” que consumen intensamente los carbohidratos disponibles.

Moss (1973) menciona que los naranjos florecen a temperaturas medias de 20 a 24° C en días cortos y que a temperaturas por encima de 30° C se inhibe la floración, mientras que la incidencia de temperaturas altas en la raíz interfiere con la floración.

2.2.4. Amarre de frutos y crecimiento

Bain (1958) distingue tres estadios durante el desarrollo del fruto en naranja cv. Valencia Tardía. El primer estadio comprende desde la floración plena hasta que los frutos alcanzan un diámetro aproximada de 2 cm; se caracteriza por un periodo de división celular. Holtzhausen (1969) señala que a medida que la duración del primer estadio es menor, los frutos resultan mas pequeños, de menor peso fresco y peso seco, con menor contenido de humedad, nitrógeno y tasa de respiración. Del Valle (1974) encontró que el primer estadio en el desarrollo de los frutos de naranja ‘Valencia Tardía’, fue de crecimiento lento, con una duración de 4–6 semanas.

El segundo estadio se considera como el periodo crítico para el crecimiento del fruto y es cuando ocurre su máximo alargamiento celular; se extiende por 29 semanas y es el periodo en que los cambios morfológicos, anatómicos y fisiológicos ocurren con mayor

rapidez. El tamaño del fruto se incrementó hasta tres veces durante el segundo estadio (Bain, 1958).

El tercer estadio es considerado por Bain (1958) como el periodo de maduración y comienza antes de que el fruto alcance la madurez comercial. Se caracteriza por el crecimiento lento y por la disminución en la tasa de los cambios morfológicos, anatómicos y fisiológicos, así como por cambios en el color del flavedo y la disminución de la acidez.

El amarre de los frutos del tiempo es alto por la baja competencia con los pocos frutos de otros flujos de crecimiento (mayero y agostero), de tal manera que hay mayor disponibilidad de carbohidratos que se requieren para sostener los procesos de crecimiento (división, alargamiento y diferenciación celular) y de transporte de materiales requeridos durante el crecimiento de los frutos del tiempo (Monselise y Halevy, 1964).

El amarre de los frutos mayeros es poco o no se presenta debido a que se da una fuerte competencia con los frutos del tiempo por los carbohidratos disponibles en la planta. La mayoría de los carbohidratos son consumidos por los frutos del tiempo, que son abundantes y es muy posible que la fotosíntesis antes de la floración mayera se realice a bajas tasas, por el cierre de estomas inducido por la sequía, y los pocos (carbohidratos) que se producen sean consumidos principalmente por los frutos del tiempo (Almaguer, 1994). Además, el amarre es poco porque a veces no se da la detención del crecimiento de febrero a mayo (sequía) y lluvia posterior en junio-julio.

El amarre de los frutos agosteros es poco o no se da, porque hay una fuerte competencia con los frutos del tiempo, que consumen la mayoría de los carbohidratos disponibles en la planta y los pocos que quedan los consumen los frutos mayeros, de tal manera que los

frutos agosteros tienen pocas posibilidades de amarrar. Además, es necesario que ocurra una detención del crecimiento en agosto (sequía) y lluvia posterior en septiembre para que se de el amarre de estos frutos.

2.3. Análisis del crecimiento

Lioré (1974) y Córdoba (1976) consideran al desarrollo como el aspecto mas general, conformado por dos procesos individuales: el crecimiento y la diferenciación. Watada *et al.* (1984) propusieron los siguientes términos y definiciones para describir el análisis del crecimiento.

Se considera que el desarrollo es una serie de procesos que se suceden en una planta o en alguno de sus órganos, desde el inicio de su crecimiento hasta su muerte e implica el crecimiento mas la diferenciación.

El crecimiento es el incremento irreversible en atributos físicos u otras características de una planta o de alguno de sus órganos en desarrollo e involucra un aumento en peso (fresco y seco) y tamaño (diámetro o volumen) e implica cambios cuantitativos. El crecimiento de la planta, o de alguno de sus órganos puede ser estudiado por la medición de las variables tales como: la longitud, el volumen, el peso fresco o seco, etc., a intervalos sucesivos de tiempo durante el periodo de desarrollo (Watada *et al.* 1984).

Watada *et al.* (1984) define la diferenciación celular como el conjunto de cambios cualitativos en que las células se especializan de acuerdo a su estructura, función y composición.

Torres de la Noval (1984) menciona que el análisis del crecimiento sirve para realizar el análisis de la productividad de una planta en función de su crecimiento, requiriendo dos principios: la medida del material vegetal existente (P) y la medida del sistema asimilativo de ese material vegetal (A), en intervalos sucesivos de tiempo. En la

práctica, la variable mas comúnmente empleada para P, es el peso seco total de una planta individual, y para A, el área foliar de la planta.

La determinación del peso seco de las plantas, o de sus órganos, resulta relativamente sencillo, requiriendo de una estufa y una balanza. Sin embargo, para el área foliar resulta laborioso determinarla de forma real, por lo que se han desarrollado diferentes métodos de estimación, que implican la determinación de las dimensiones de la hoja, su peso fresco o seco (Torres de la Noval, 1984).

Se han empleado otras variables para P, tales como el peso seco del vegetal por encima del nivel del suelo, por encima del corte de cosecha, o de algún órgano distintivo de la planta como la raíz , el tallo principal, los tubérculos o los frutos. Para A, se ha tomado el área fotosintetizante total, el peso de las hojas, el contenido de proteínas o clorofila foliar, etc. (Torres de la Noval, 1984).

Aranguren (1996) menciona en un estudio realizado en Jagüey Grande, Cuba, el crecimiento de los frutos de naranja 'Valencia Tardía', expresado en función del diámetro ecuatorial, mostró que este órgano experimentó su mayor dinámica de crecimiento antes de los 100 días de edad; el crecimiento se estabilizó con la maduración al alcanzar diámetros superiores a 60 mm y superar los 200 días de edad.

El diámetro axial o altura del fruto de naranja 'Valencia Tardía' manifestó una tendencia similar a la del diámetro ecuatorial y estabilizó su tasa de incremento con la maduración, lo cual se atribuye al inicio de la senescencia en los frutos y a las condiciones de sequía incidentes durante esta etapa del desarrollo, en los meses de escasa precipitación Aranguren (1996).

En los frutos de naranja 'Valencia Tardía', entre los 30 y 390 días de edad posteriores a la floración, el peso fresco de los frutos experimentó un marcado incremento hasta

aproximadamente los 250 días, momento a partir del cual los aumentos se volvieron de menor magnitud; después de los 330 días se aprecia una estabilización en esta variable, lo que pudiera estar relacionado con el inicio del proceso de envejecimiento o senescencia (Aranguren, 1996).

La tasa de crecimiento de los frutos de naranja ‘Valencia Tardía’, calculada para el diámetro ecuatorial siguiendo la metodología de Rivero *et al.* (1977), indicó que en este cultivar se tiene un crecimiento importante entre los 50 y 80 días posteriores a la floración masiva (5 de febrero-12 de marzo) lo que corresponde al periodo entre la segunda quincena de marzo y la segunda de abril, en que la tasa de crecimiento es de $0.74 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$. Posterior a esta fase de rápido crecimiento, se aprecia una disminución paulatina en la dinámica, con una tasa de crecimiento promedio de $0.41 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ entre la primera quincena de mayo y la segunda de junio (100-150 días de edad) mientras que entre la primera quincena de julio y la primera de octubre (160-200 días de edad), se observó un ligero incremento en la tasa de crecimiento, posiblemente asociado a las precipitaciones que se presentan durante esos meses (Aranguren, 1996).

A partir de los 260 días y hasta los 280 días, la tasa de crecimiento desciende considerablemente y alcanza valores mínimos alrededor de los 290 días, en el mes de noviembre y alcanza un valor de $0.023 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ entre octubre y febrero (270-370 días).

A los 306 días en el mes de noviembre se alcanza la madurez fisiológica de los frutos y, por lo tanto, prácticamente detienen su crecimiento e incrementan su actividad metabólica (Aranguren, 1996).

2.4. Modelos Matemáticos

Los modelos matemáticos son representaciones de sistemas reales que se usan para facilitar su comprensión o estudio; se busca que estas representaciones sean lo más

simple y precisas (Myers, 1990). Existen modelos físicos, como las maquetas o los dibujos, y modelos abstractos, como los modelos matemáticos, que son representaciones matemáticas en forma de ecuaciones que se utilizan para describir cuantitativamente el comportamiento de una o más variables (variables dependientes) con base en la variación de otras (variables independientes) (Afifi y Clark, 1984).

Una de las ventajas del uso de los modelos matemáticos es su naturaleza cuantitativa, que pretende complementar el conocimiento cualitativo (Espinoza, 2000). En general se conocen las relaciones entre las variables de los sistemas biológicos, pero se desconoce la magnitud del cambio de unas por efecto del cambio de otras, y los modelos matemáticos pueden ser la solución (Thornley, 1976).

Los modelos de regresión o matemáticos tienen varios usos, entre los que destacan los siguientes (Myers, 1990).

2.4.1. Estimación de la variable dependiente

Es cuando el investigador está interesado únicamente en la estimación de la variable dependiente, pero no en los demás componentes del modelo. Por ejemplo, en Fitopatología se construyen modelos que permiten estimar el grado de infección que se presentará en un cultivo (variable dependiente), teniendo como base las condiciones ambientales, como es el caso de *Triticum aestivum* causada por *Neovossia indica* (Singh *et al.*, 1996), y que permiten establecer medidas fitosanitarias de prevención.

2.4.2. Identificación de las variables independientes

En este caso la estimación de la variable dependiente queda en segundo plano o es irrelevante; entonces, la generación de modelos sirve para identificar las variables independientes que determinan el comportamiento de ella. Por ejemplo, Lindstron (1997) al identificar los factores que determinan la longitud de fibras, el diámetro de

traqueidas y el porcentaje de madera tardía en abeto noruego utilizó la construcción de modelos mediante regresión e identificó a las variables edad cambial, anchura del anillo de crecimiento y calidad del sitio como las principales determinantes.

2.4.2.1. Criterios para seleccionar las variables independientes

Para la generación de los modelos, la experiencia del investigador es determinante para la elección de las variables que los conforman. Se puede utilizar un pensamiento lógico tratando de dilucidar, con base en la información disponible, qué variables determinan los valores de la variable dependiente de interés (Afifi y Clark, 1984).

Para la creación de los modelos por regresión, tanto los métodos manuales como los computacionales normalmente incluyen un análisis de varianza que permite determinar de manera objetiva si la participación de la interceptada o una variable independiente en el modelo es significativa o no y por lo tanto si ha de ser incluida o no en el modelo (Myers, 1990).

2.4.3. Criterios para seleccionar los modelos

Existen algunos criterios que permiten evaluar la confiabilidad de los modelos, lo que permite elegir, entre varios, el mejor. El criterio más usado es el coeficiente de determinación (R^2 ó r^2), que toma valores entre 0 y 1; mientras más cerca de 1 sea el valor de R^2 , el modelo será más confiable; un valor de 0 para R^2 significa una total independencia entre los valores de la variable dependiente y los de las variables independientes, de tal modo se puede considerar que la R^2 representa la proporción de la variación de los datos respuesta que es explicada por el modelo, es decir, el grado de ajuste del modelo a los datos reales (Infante y Zarate, 1984; Myers, 1990). En algunos casos se considera la R^2 ajustada en lugar de la R^2 simple, con lo que se intenta evitar la inclusión de variables de valor marginal en el modelo (Myers, 1990). En numerosos

trabajos se han aceptado modelos con R^2 bajas de 0.4 a 0.5 ó menores que denotan falta de ajuste de los modelos (Schwartz *et al.*, 1997; Meng y Arp, 1993; Meng *et al.*, 1994).

Otro estadístico usado es el C(p) de Mallow, para seleccionar el modelo adecuado y permite, al igual que la R^2 ajustada, evitar incluir variables de valor marginal en el modelo (Myers, 1990); se considera que mientras más pequeño sea el valor del C(p), mejor será el modelo e incluso se recomienda seleccionar aquellos modelos cuyo C(p) se acerque a p (número de variables independientes en el modelo).

2.4.4. Modelos matemáticos en frutales

En los frutales se utilizan los modelos matemáticos para la estimación de muchas variables de naturaleza muy diversa; como ejemplo se pueden mencionar los siguientes.

2.4.4.1. Estimación de requerimientos y satisfacción de frío

Los fruticultores para encontrar un indicador que permita dilucidar si en un lugar determinado el frío invernal es suficiente para promover la brotación adecuada en primavera de determinados genotipos de requerimientos específicos, se han desarrollado modelos matemáticos de tipo empírico que se basan en variables indirectas para estimar la cantidad de frío que se presenta en un lugar. Son ampliamente conocidos los modelos de UTA, de North Carolina y de Damota (Lopez *et al.*, 1989), este último muy usado en México por ser de fácil implementación y de mediana confiabilidad; se representa como sigue:

$$Y_i = 485.1 - 28.52 X_i$$

Donde Y_i = cantidad de frío del lugar en el mes i (con i = noviembre, diciembre, enero y febrero).

X_i = temperatura media mensual del mes i .

2.4.4.2. Estimación de la fecha, tamaño final y volumen de la cosecha de frutos

Para las empresas productoras se hace necesario prever la fecha probable de cosecha, el tamaño de los frutos y el volumen total de la producción, con el fin de establecer estrategias operativas, como la compra de empaque, la contratación de personal y transporte y la venta anticipada del producto. Para ello es común que se desarrollen modelos matemáticos empíricos por técnicas de regresión, específicos para los cultivares, localización y manejo de huertos que ayuden a resolver tales necesidades y que se basen en el tamaño y/o crecimiento de los frutos. También es común que tales modelos sean sencillos, lineales (con variables y regresores lineales) y simples (de una sola variable independiente), como es el caso de los desarrollados por Almaguer (1986) para cuatro cultivares de ciruelo japonés.

2.4.4.3. Estimación de peso fresco y seco de ramas de durazno

En estudios del crecimiento de las plantas se evalúan variables que requieren de su destrucción; tal es el caso del peso fresco y, más comúnmente, del peso seco de ramas. En el caso de plantas arbóreas, como el durazno, ese procedimiento resulta en trabajo prolongado y costoso por su naturaleza destructiva. Espinoza (2000) generaron modelos matemáticos de alta confiabilidad que estimen el peso fresco y peso seco sobre la base de otras que no requieren la destrucción de la planta. Se encontró que el peso fresco de las ramas se puede estimar sobre la base del volumen calculado por las fórmulas del cono truncado y cono (para las ramas podadas y no, respectivamente), el número de hojas (como indicador del número de yemas) y la relación entre los diámetros basales lateral y adaxial-abaxial, con modelos para ramas de diferente avance de lignificación que tienen R^2 entre 0.94 y 0.98 y $C(p)$ muy aceptable (entre 1.29 y 5, para modelos con 1 a 4 variables). Espinoza (2000), obtuvo un modelo general que estima el peso seco (PS

= $-0.7484 + 0.5804 \text{ PF}$) y uno para cada grado de dureza, todos con R^2 entre 0.98 y 0.99 y $C(p)$ de 2.

2.4.4.4. Estimación de la biomasa de órganos aéreos de plantas de manzana

En la actualidad, la biomasa de plantas y sus órganos es una variable que se usa ampliamente en estudios del crecimiento, de productividad, de relaciones fuente-demanda y otros. Espinoza y Almaguer (2003) generaron modelos matemáticos para brindillas (ramas medianas), dardos (ramas cortas), hojas jóvenes (en intenso crecimiento), hojas maduras (en lento o nulo crecimiento) y frutos. Los modelos obtenidos se pueden considerar de alta calidad, ya que todas sus variables tuvieron significancia menor o igual a 0.05; los modelos tuvieron coeficientes de determinación altos (mayores a 0.97) y $C(p)$ similares al número de variables que intervienen en sus respectivos modelos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio de estudio

El estudio se realizó en un huerto localizado en la Congregación de El Cabellal, municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, que se encuentra a 151 msnm y presenta un clima Af(m)w(e) que se describe como clima cálido húmedo con lluvias todo el año, temperatura media anual de 26° C y precipitación anual de 1831 mm, con sequía en los meses de marzo a mayo y agosto (García, 1988).

3.2. Material vegetal

Los árboles se encuentran plantados en suelos planos y profundos a distancias de 6 x 6 m en tresbolillo. Se utilizaron 6 plantas de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) cultivar Valencia Tardía (3 árboles para generar los modelos matemáticos y 3 árboles para el análisis del crecimiento) injertados sobre naranjo agrio (*Citrus aurantifolia* L. Osbeck) de 15 años de edad.

3.3. Selección de los árboles

En noviembre de 2001 se seleccionaron los árboles, de porte y vigor medio, sanos, bien formados y sin manifestación de plagas y enfermedades o de carencias nutrimentales.

3.4. Manejo de los árboles en estudio

Las plantas en estudio se sometieron al manejo siguiente.

3.4.1. Poda

En enero de 2002 se dió una poda ligera a las plantas, eliminando las ramas que se entrecruzaban y chupones de la copa del árbol, tocones y las ramas muertas y dañadas.

3.4.2. Fertilización

En enero, junio, septiembre y diciembre de 2002 se fertilizaron las plantas aplicando 1 kg·árbol⁻¹ de urea al suelo. En la copa del árbol se aplicó fertilizante foliar completo

(Bayfolan forte®) en solución acuosa a una concentración de $4 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ mas urea a $10 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$.

3.4.3. Control de malezas

En enero, junio, septiembre y diciembre de 2002 se hicieron deshierbes manuales.

3.4.4. Control de plagas y enfermedades

En enero, junio, septiembre, y diciembre de 2002, se aplicó el insecticida Metasystox R-50 (i.a. oxidimetón metílico) a una concentración de $3 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ mas el fungicida manzate a concentración de $1 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ aplicados foliarmente como preventivos para evitar la presencia de plagas y enfermedades.

3.5. Ramas

En este estudio se evaluaron las ramas de diferentes grado de dureza de acuerdo a la escala mostrada en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Escala usada para la evaluación de la dureza de ramas de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz.

Dureza de ramas	Descripción de las ramas
1	Ramas recién emitidas, foliadas con incipiente lignificación
2	Ramas verdes, foliadas, ligeramente endurecidas con incipiente corteza en la base.
3	Ramas foliadas o no foliadas, con lignificación media, poco flexibles y con corteza en casi todo su cuerpo.
4	Ramas de madera dura, no flexibles, no foliadas, con corteza en casi todo su cuerpo y mayores de 2 años de edad.

3.6. Identificación y marcado de ramas, frutos y hojas

Se identificaron todas las ramas y se marcaron con un anillo delgado de pintura vinílica en la base y en la punta, a fin de facilitar la evaluación que de ellas se hizo en las varias fechas de evaluación.

Los frutos se identificaron y marcaron en el pedúnculo con etiquetas, para identificarlos en las fechas de evaluación, mientras que las hojas se identificaron y marcaron con etiquetas en el pecíolo de la hoja.

3.7. Clima

Se evaluaron las siguientes variables ambientales.

3.7.1. Temperatura

La temperatura se midió con un termómetro de máximas y mínimas, diariamente desde enero de 2002 hasta el final del estudio (marzo 2003) y se calculó la temperatura promedio diaria.

3.7.2. Precipitación

La precipitación (mm) se evaluó diariamente con un pluviómetro de 29 cm de diámetro, desde enero 2002 hasta marzo 2003 y, con el fin de detectar una tendencia en la precipitación a lo largo del período de evaluación, se calculó la precipitación acumulada.

3.8. Variables morfológicas

A cada una de las ramas, incluido el tronco, se le midieron las variables en las siguientes 7 fechas: 16 de marzo de 2002, 10 de junio de 2002, 29 de julio de 2002, 17 de septiembre de 2002, 4 de noviembre de 2002, 16 de diciembre de 2002, 3 de febrero de 2003 y 17 de marzo de 2003, con periodos consecutivos de 86, 49, 50, 48, 42, 49 y 42 días respectivamente y periodos acumulados de 0, 86, 185, 233, 275, 324 y 366 días desde la primera hasta la última fecha de evaluación.

3.8.1. Diámetro

Se midió el diámetro en la base de todas las ramas en los sentidos adaxial-abaxial (DAA) y lateral (DL) con un vernier. En las ramas podadas además se midieron los diámetros en su parte distal. Con estos datos se obtuvieron los promedios por punto de medición (base y ápice) y la relación DAA/DL (ésta únicamente para la base, es decir, DBAA/DBL). Se calculó el promedio del diámetro por grado de dureza de rama.

3.8.2. Longitud

Se midió la longitud (mm) desde la base, en el lado adaxial, hasta la punta de cada rama con una cinta métrica. Se calculó el promedio por grado de dureza.

3.8.3. Número de hojas

Se contaron las hojas de cada rama y se calculó el promedio de las hojas por rama y el total de hojas por tipo de rama, según su dureza. Además se les midió la longitud y ancho de lámina, longitud y diámetro del pecíolo y área foliar.

3.8.4. Volumen calculado por fórmulas (VCF)

Con los datos de los diámetros basales y apicales promedio, longitud de ramas y número de hojas, se calculó para cada rama el volumen con las fórmulas del cono y cono truncado, aplicadas a las ramas no podadas y podadas, respectivamente.

3.8.5. Número de flores

Las flores se contaron semanalmente, suponiendo que las contadas en una fecha ya habrán caído, liberando sus pétalos, o tenían un estado de senescencia que indicaba que ya habían sido contadas.

3.8.6. Diámetro polar y ecuatorial

Se midieron el diámetro polar y el ecuatorial de los frutos con un vernier, desde el amarre de los frutos hasta la madurez fisiológica de los frutos, manifiesta por falta de cambios en estas variables.

3.9. Biomasa de ramas, frutos y hojas y área de hojas

En febrero de 2003 se generaron los modelos matemáticos para ramas, frutos y hojas y área de hojas con base en la medición de las variables morfológicas anteriores (diámetro, longitud, ancho de lámina, longitud del pecíolo y área foliar); posteriormente se cortaron y se secaron en una estufa a 70° C hasta peso constante y se les evaluó el peso.

Por medio de la técnica de regresión, con apoyo del programa SAS (definiendo la interceptada igual a cero y significancia de las variables candidatas igual a 0.05) se construyeron los modelos matemáticos, y con el método Stepwise, se seleccionaron los mejores modelos con base en el mayor coeficiente de determinación y la menor C(p). Estos modelos se aplicaron a las ramas, frutos y hojas y área de hojas para estimar la biomasa y su dinámica a lo largo del estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variables ambientales

4.1.1. Temperatura

En los meses de febrero-abril del 2002, la temperatura se incrementó (cuadro 3) debido a que estaba entrando la primavera; en esta estación las temperaturas son relativamente altas aunque hay una pequeña disminución de la temperatura en el mes de mayo (28.2° C), posiblemente por los días nublados, y tendió a mantenerse constante en el verano (figura 2); sin embargo, al entrar el otoño, a finales de septiembre, las temperaturas tendieron a disminuir hasta el invierno, por efecto de los nublados ocasionados por los “nortes”.

Cuadro 3. Promedios mensuales de datos meteorológicos de El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Febrero 2002-marzo 2003.

MES	TMIN	TMAX	TPROM	PM	PMA
FEBRERO	15.00	25.91	20.45	44.78	44.78
MARZO	19.18	31.00	25.09	6.21	50.99
ABRIL	23.73	34.77	29.25	1.48	52.47
MAYO	22.55	33.91	28.23	118.91	171.38
JUNIO	24.50	34.14	29.32	195.44	366.82
JULIO	23.45	35.23	29.34	42.47	409.29
AGOSTO	24.09	34.09	29.09	42.57	451.86
SEPTIEMBRE	23.73	33.45	28.59	18.20	470.06
OCTUBRE	20.68	34.32	27.50	93.61	563.67
NOVIEMBRE	19.00	27.36	23.18	168.90	732.57
DICIEMBRE	17.35	25.39	21.37	43.83	776.40
ENERO	17.44	25.38	21.41	55.23	831.63
FEBRERO	19.09	26.50	22.80	26.24	857.87
MARZO	18.64	30.88	24.76	8.46	866.33
PROMEDIO	19.86	29.72	24.79	53.34	

TMIN = temperatura mínima (° C); TMAX = temperatura máxima (° C); TPROM = temperatura promedio (° C); PM = precipitación mensual (mm); PMA = precipitación mensual acumulada (mm).

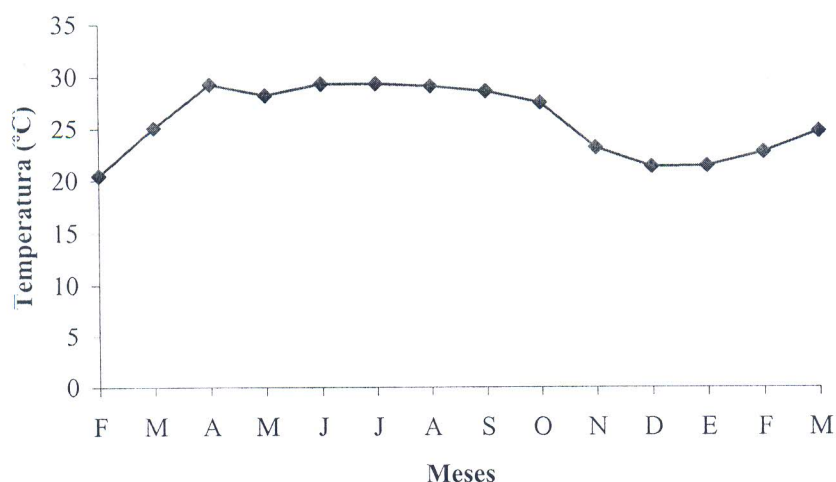


Figura 1. Temperatura promedio mensual de El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Febrero 2002-marzo 2003.

4.1.2. Precipitación

En los meses de febrero a abril se presentó una sequía (cuadro 3), mientras que en la primavera, en los meses de mayo y junio, se incrementó la precipitación; del mes de julio a septiembre se presentó otra sequía. Normalmente, en el mes de julio llueve (figura 1); sin embargo, en este año la precipitación fue muy escasa en este mes. En el otoño se presentó un incremento en la precipitación en los meses de octubre-noviembre y en el invierno, aunque normalmente llueve por efecto de los “nortes”, esta vez se presentó una sequía con bajas precipitaciones en los meses de diciembre a marzo (figura 3). Se presentó una precipitación anual de 866.33 mm, que es muy baja, comparada con la precipitación que reporta García (1988), para el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz (1831 mm). Esta diferencia se debe a que en este año hubo sequía en los meses de julio a septiembre y en el invierno, de diciembre a marzo, considerándose un período atípico.

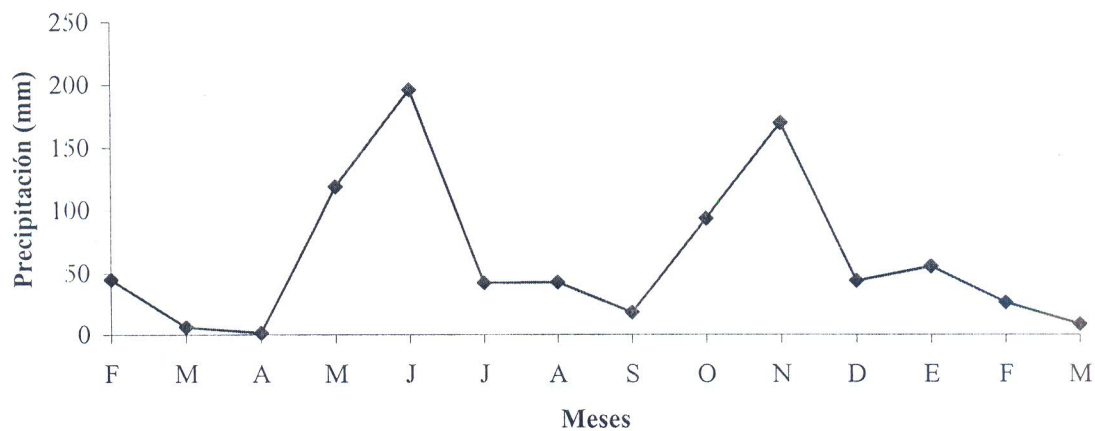


Figura 2. Precipitación mensual de El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Febrero 2002-marzo 2003.

4.2. Variables morfológicas

4.2.1. Diámetro basal

Las ramas de durezas 1 y 2 (cuadro 4) tuvieron crecimientos similares en diámetro basal de 0.52 y 0.53 mm respectivamente, durante el periodo de evaluación del 16 de marzo de 2002 al 17 de marzo de 2003, mientras que en ese periodo las ramas de dureza 3 crecieron 0.80 mm de diámetro. Las ramas que más crecieron fueron las ramas de dureza 4, con 1.90 mm de incremento del diámetro basal, debido posiblemente a la mayor actividad del cambium vascular de estas ramas, causada por la presencia de una cantidad mayor de auxinas que se traslocan por floema desde las ramas jóvenes de durezas 1 y 2 (foliadas) que se localizan en la periferia de la copa del árbol (Baum *et al.*, 1991; Esau, 1972; Letham *et al.*, 1978; Roberts *et al.*, 1988). Resultados similares encontró Hernández (2004) en árboles fructificantes de durazno cv. Diamante, donde las ramas que más crecieron en diámetro fueron las ramas de dureza 4 con 1.19 cm de incremento anual, y las ramas de durezas 1, 2, y 3 crecieron menos (0.35, 0.35, y 0.80 cm,

respectivamente), durante el periodo de evaluación. Las ramas de dureza 4 (cuadro 4, figura 4) crecieron más en el periodo del 10 de junio al 17 de septiembre de 2002 (1.14 mm del incremento total, 60 %), que en el periodo de noviembre a marzo de 2003 (0.76 mm del incremento total, 40 %), por efecto de las temperaturas (24.76 a 21.37° C) y precipitaciones (168.90 a 8.46 mm), relativamente bajas.

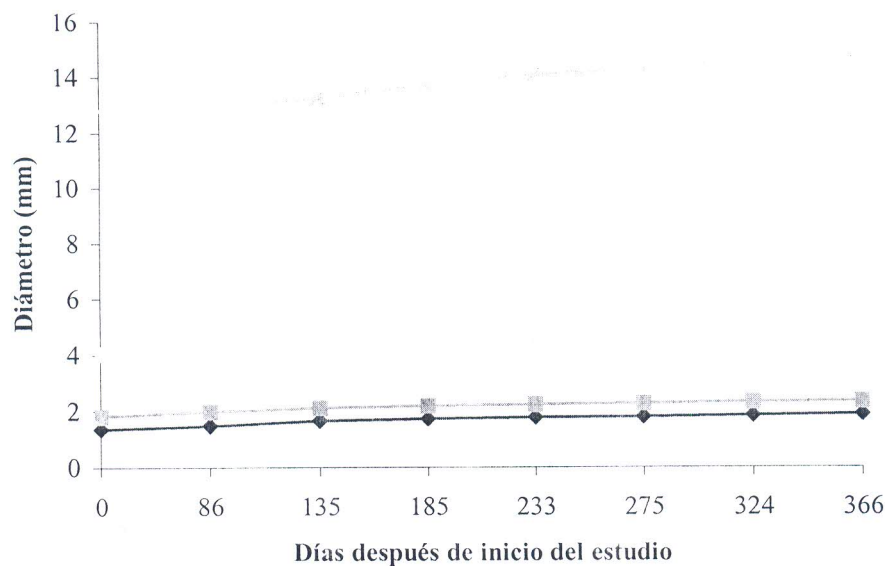


Figura 3. Diámetro basal promedio de ramas de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

Cuadro 4. Diámetro basal promedio de ramas de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

PA	FECHAS	DB1	IAD1	IPD1	DB2	IAD2	IPD2	DB3	IAD3	IPD3	DB4	IAD4	IPD4	IPD4
0	16-03-02	1.36	-	-	1.82	-	-	4.06	-	-	12.81	-	-	-
86	10-06-02	1.53	0.17	0.17	32.69	1.98	0.16	30.18	4.27	0.21	26.25	13.27	0.46	24.21
135	29-07-02	1.66	0.30	0.13	25.00	2.12	0.30	26.41	4.47	0.41	25.00	13.61	0.80	17.89
185	17-09-02	1.72	0.36	0.06	11.53	2.19	0.37	13.20	4.60	0.54	16.25	13.95	1.14	17.89
233	04-11-02	1.77	0.41	0.05	9.61	2.24	0.42	9.43	4.70	0.64	12.50	14.19	1.38	12.63
275	16-12-02	1.81	0.45	0.04	7.69	2.28	0.46	7.54	4.77	0.71	8.75	14.42	1.61	12.10
324	03-02-03	1.85	0.49	0.04	7.69	2.32	0.50	7.54	4.82	0.76	6.25	14.62	1.81	10.52
366	17-03-03	1.88	0.52	0.03	5.76	2.35	0.53	5.66	4.86	0.80	5.00	14.71	1.90	4.73

PA = periodo acumulado (días); DBX = diámetro (mm) basal promedio de ramas de dureza X (donde X = 1, 2, 3, ó 4); IADX = incremento acumulado del diámetro (mm) basal promedio de ramas de dureza X; IPDX = incremento relativo del diámetro (mm) basal promedio de ramas de dureza X, en el periodo próximo anterior; IPDX = incremento relativo del diámetro (%) basal promedio de ramas de dureza X, en el periodo próximo anterior.

4.2.2. Longitud

Las ramas de dureza 1 (cuadro 5), que son ramas recién emitidas, foliadas con incipiente lignificación (crecimientos del año), se alargaron más (12.41 mm) que las ramas de durezas 2, 3 y 4 en el periodo de evaluación del 16 de marzo de 2002 al 17 de marzo de 2003 (8.57, 7.18, 5.88 mm, respectivamente). Esta diferencia en crecimiento se debió a las hojas que sostenían las ramas de dureza 1 que sirvieron de fuente de carbohidratos al ápice de cada rama. Las ramas de durezas 2, 3 y 4 (figura 5) crecieron más en el periodo del 16 de marzo al 17 de septiembre de 2002 (6.55, 6.04, 4.85 mm, respectivamente, del incremento total en promedio, 73 %), debido a las temperaturas relativamente altas y precipitación que se presentaron en ese periodo. Posteriormente, en el otoño e invierno, el crecimiento disminuyó, ya que las temperaturas disminuyeron de 29.0° C a 21.3° C en promedio (cuadro 3). Las ramas que menos crecieron durante el año fueron las ramas de dureza 4 (5.88 mm) que son ramas de madera dura, no flexibles, y de años anteriores. Resultados similares encontró Espinoza (2000) en árboles no fructificantes de durazno cv. Diamante, donde las ramas que menos crecieron en longitud fueron las de dureza 4 y las que mas crecieron en longitud fueron las ramas de dureza 1.

Al comparar el crecimiento en longitud (cuadro 5) con el crecimiento en diámetro (cuadro 4), se observa que los crecimientos son diferentes, porque las ramas que más crecieron en longitud (figura 5) fueron las ramas de durezas 1 y 2, mientras que las ramas que más crecieron en grosor fueron las ramas de durezas 3 y 4.

Cuadro 5. Longitud promedio de ramas de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

PA	FECHAS	L1	IAL1	IPL1	L2	IAL2	IPL2	L3	IAL3	IPL3	L4	IAL4	IPL4
0	16-03-02	44.52	-	-	69.72	-	-	110.61	-	-	270.77	-	-
86	10-06-02	47.25	2.73	21.99	73.24	3.52	41.07	113.54	2.93	40.80	273.08	2.31	39.28
135	29-07-02	49.79	5.27	20.46	75.62	5.90	27.77	116.13	5.52	36.07	275.09	4.32	34.18
185	17-09-02	51.96	7.44	17.48	76.27	6.55	7.58	116.65	6.04	0.52	275.62	4.85	9.01
233	04-11-02	54.05	9.53	16.84	76.91	7.19	7.46	117.06	6.45	0.41	275.95	5.18	5.61
275	16-12-02	55.49	10.97	11.60	77.40	7.68	5.71	117.44	6.83	0.38	276.22	5.45	4.59
324	03-02-03	56.43	11.91	7.57	77.85	8.13	5.25	117.64	7.03	0.20	276.45	5.68	3.91
366	17-03-03	56.93	12.41	4.02	78.29	8.57	5.13	117.79	7.18	0.15	276.65	5.88	3.40

PA = periodo acumulado (días); LX = longitud (mm) promedio de ramas de dureza X (donde X = 1, 2, 3, ó 4); IALX = incremento acumulado de la longitud (mm) promedio de ramas de dureza X; IPLX = incremento relativo de la longitud (mm) promedio de ramas de dureza X, en el periodo próximo anterior; IPLX incremento relativo de la longitud (%) promedio de ramas de dureza X, en el periodo próximo anterior.

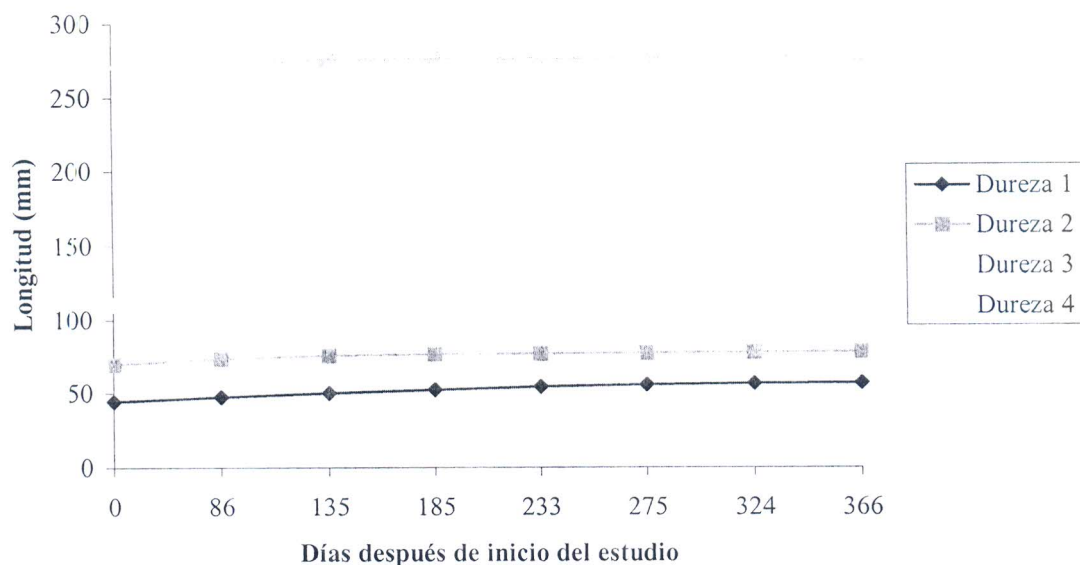


Figura 4. Longitud promedio de ramas de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

4.2.3. Número de hojas

Las ramas de durezas 1 y 2 tuvieron el mayor número de hojas en todo el periodo de evaluación (cuadro 7), debido a que son las ramas que se encuentran más a la periferia de la copa del árbol. Las hojas son los órganos principales en la producción de carbohidratos (Esau, 1972; Taíz y Zeiger, 1998; Zamski y Schaffer, 1996), de tal manera que las ramas de durezas 1 y 2 son los principales centros de producción de carbohidratos en los árboles de naranja cv. Valencia Tardía. También se puede apreciar que el número promedio de hojas (cuadro 6) por ramas se incrementó más en el periodo en las ramas de dureza 1 (0.68) que en las ramas de dureza 2 (0.17). Por otro lado, las ramas de durezas 3 y 4 (figura 6) tuvieron pocas hojas en promedio y eso se debió a que eran ramas de mayor edad que ya se habían defoliado y en general, habían sido podadas, razón por la cual no podían emitir nuevas hojas y hay que considerar que estaban

localizadas más al interior de la copa que las ramas de durezas 1 y 2, por lo cual estaban más sombreadas y con menos capacidad de crecimiento

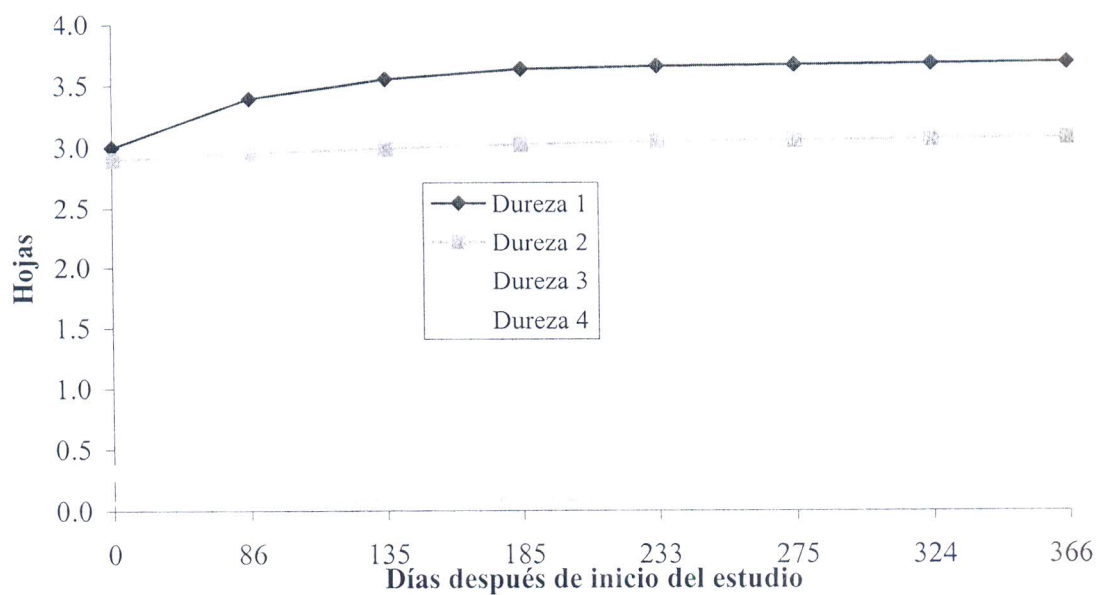


Figura 5. Hojas individuales de ramas de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

Cuadro 6. Número de hojas individuales de ramas de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

PA	FECHAS	NHP1	IAHP1	IPHP1	NHP2	IAHP2	IPHP2	NHP3	IAHP3	IPHP3	NHP4	IAHP4	IPHP4
0	16-03-02	3.00	-	-	2.90	-	-	0.32	-	-	0.07	-	-
86	10-06-02	3.39	0.39	0.39	2.95	0.05	0.05	0.36	0.04	0.04	0.08	0.01	0.01
135	29-07-02	3.55	0.55	0.16	2.99	0.09	0.04	0.38	0.06	0.02	0.08	0.01	0.00
185	17-09-02	3.63	0.63	0.08	3.02	0.12	0.03	0.40	0.08	0.02	0.08	0.01	0.00
233	04-11-02	3.65	0.65	0.02	3.04	0.14	0.02	0.40	0.08	0.00	0.08	0.01	0.00
275	16-12-02	3.66	0.66	0.01	3.05	0.15	0.01	0.40	0.08	0.00	0.08	0.01	0.00
324	03-02-03	3.67	0.67	0.01	3.06	0.16	0.01	0.40	0.08	0.00	0.08	0.01	0.00
366	17-03-03	3.68	0.68	0.01	3.07	0.17	0.01	0.40	0.08	0.00	0.08	0.01	0.00

PA = periodo acumulado (días); NHPX = número de hojas promedio de ramas de dureza X (donde X = 1, 2, 3, ó 4); IAHPX = incremento acumulado de las hojas promedio de ramas de dureza X; IPHPX = incremento relativo de las hojas promedio de ramas de dureza X, en el periodo próximo anterior.

Las ramas de durezas 1, 2, 3, y 4 presentaron el mayor número de hojas del 16 de marzo de 2002 hasta el 29 de septiembre de 2003, y de ésta fecha, hasta el 17 de marzo de 2004 los incrementos disminuyeron por las condiciones climáticas adversas en ese periodo; resultados similares se obtuvieron en los crecimientos de longitud.

Un aspecto importante que debe señalarse es el bajo crecimiento del número total de hojas en el árbol (figura 7), y eso puede deberse a la escasa precipitación que se presentó durante el periodo de evaluación (cuadro 3, figura 3). Si consideramos que las temperaturas fueron relativamente altas durante ese periodo, y que las precipitaciones fueron bajas, podemos suponer que el suelo tenía un bajo contenido de humedad durante casi todo el periodo, lo que puede explicar el crecimiento lento de las ramas y, por tanto, la baja tasa de emisión de hojas, y eso se ratifica con los datos de longitud promedio de ramas, que muestra que las ramas de durezas 1 y 2 tuvieron incrementos máximos de 12.4 y 8.57 mm, respectivamente, en todo el periodo (16 de marzo de 2002-17 de marzo de 2003), los que se consideran de baja magnitud.

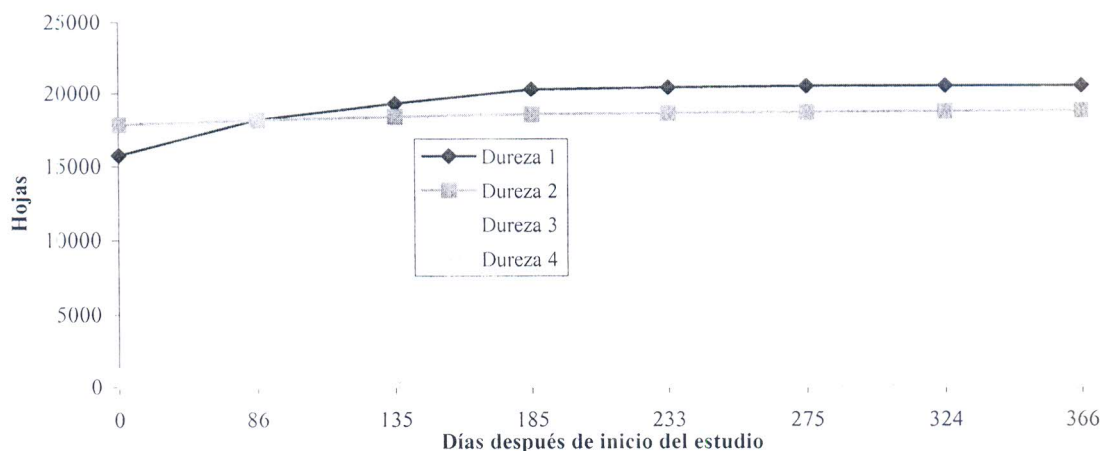


Figura 6. Número total de hojas de ramas de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

Cuadro 7. Número total de hojas de ramas de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz, Marzo 2002-marzo 2003.

PA	FECHAS	NHT1	IAHT1	IPHT1	NHT2	IAHT2	IPHT2	NHT3	IAHT3	IPHT3	NHT4	IAHT4	IPHT4
0	16-03-02	15742.00	-	-	17846.00	-	-	803.00	-	-	32.00	-	-
86	10-06-02	18135.00	2393.00	2393.00	18128.00	282.00	282.00	911.00	108.00	108.00	36.00	4.00	4.00
135	29-07-02	19253.00	3511.00	1118.00	18350.00	504.00	222.00	961.00	158.00	50.00	38.00	6.00	2.00
185	17-09-02	20251.00	4509.00	998.00	18507.00	661.00	157.00	1006.00	203.00	45.00	40.00	8.00	2.00
233	04-11-02	20380.00	4638.00	129.00	18584.00	738.00	77.00	1012.00	209.00	6.00	40.00	8.00	0.00
275	16-12-02	20462.00	4720.00	82.00	18647.00	801.00	63.00	1015.00	212.00	3.00	40.00	8.00	0.00
324	03-02-03	20474.00	4732.00	12.00	18698.00	852.00	51.00	1016.00	213.00	1.00	40.00	8.00	0.00
366	17-03-03	20484.00	4742.00	10.00	18738.00	892.00	40.00	1017.00	214.00	1.00	40.00	8.00	0.00

PA = periodo acumulado (días); NHTX = número total de hojas de ramas de dureza X (donde X = 1, 2, 3, ó 4); IAHTX = incremento acumulado del número total de hojas de ramas de dureza X; IPHTX = incremento relativo del número total de hojas de ramas de dureza X, en el periodo próximo anterior.

4.2.4. Crecimiento de frutos

El comportamiento del crecimiento del diámetro ecuatorial de los frutos fue similar al crecimiento en diámetro polar (figura 8) en el período de evaluación del 16 de marzo de 2002 al 17 de marzo de 2003.

Cuadro 8. Diámetros ecuatorial y polar promedio de frutos de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

PA	FECHAS	DE	IADE	IPDE	IDED	DP	IADP	IPDP	IDPD
0	16-03-02	12.66	0.00	0.00	0.00	15.36	0.00	0.00	0.00
86	10-06-02	39.86	27.20	27.20	0.32	42.52	27.16	27.16	0.32
135	29-07-02	52.34	39.68	12.48	0.25	52.07	36.71	9.55	0.19
185	17-09-02	58.24	45.58	5.90	0.12	56.78	41.42	4.71	0.09
233	04-11-02	62.96	50.30	4.72	0.10	61.30	45.94	4.52	0.09
275	16-12-02	66.02	53.36	3.06	0.07	64.34	48.98	3.04	0.07
324	03-02-03	68.32	55.66	2.30	0.05	66.75	51.39	2.41	0.05
366	17-03-03	69.02	56.36	0.70	0.02	67.46	52.10	0.71	0.02

PA = periodo acumulado (días); DE = diámetro ecuatorial (mm); IADE = incremento acumulado del diámetro ecuatorial (mm); IPDE = incremento relativo del diámetro ecuatorial (mm), en el periodo próximo anterior; IDED = incremento del diámetro ecuatorial diario (mm/día); DP = diámetro polar (mm); IADP = incremento acumulado del diámetro polar (mm); IPDP = incremento relativo del diámetro polar (mm), en el periodo próximo anterior; IDPD = incremento del diámetro polar diario (mm/día).

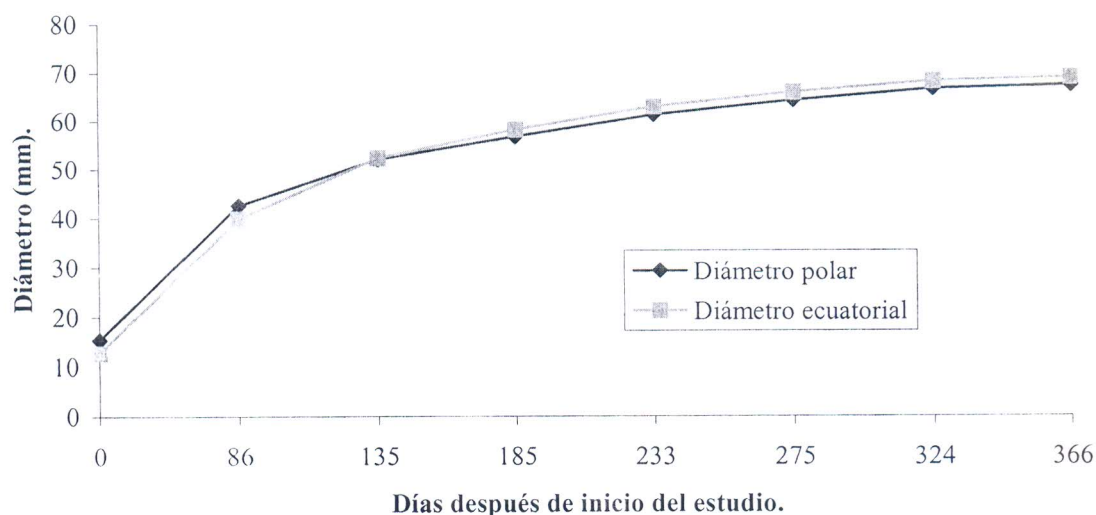


Figura 7. Diámetros polar y ecuatorial promedio de frutos de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

El comportamiento del crecimiento de los frutos (cuadro 8) fue diferente a lo largo del año, de tal manera que del 16 de marzo al 29 de julio de 2002 (en los primeros 135 días) se dió el máximo incremento del tamaño de los frutos, porque es la etapa en que el fruto se desarrolla mas rápido de manera natural, se presenta después del amarre de los frutos, y las lluvias sostuvieron ese crecimiento y del 17 de septiembre al 17 de marzo de 2003 se presentó una disminución constante del incremento del crecimiento de los frutos conforme se llegaba a la a la madurez fisiológica y a la cosecha de los frutos. Resultados similares encontró Aranguren (1996) para naranja ‘Valencia Tardía’, y el máximo crecimiento de los frutos, expresado en función del diámetro ecuatorial, mostró su mayor dinámica de crecimiento antes de los 100 días de edad, y el crecimiento se estabilizó con la maduración al alcanzar diámetros superiores a 60 mm y superar los 200 días de edad. El diámetro polar (axial o altura del fruto) manifestó una tendencia similar a la del diámetro ecuatorial y estabilizó su tasa de incremento con la maduración, lo cual se atribuye al inicio de la senescencia en los frutos y a las condiciones de sequía incidentes durante esta etapa del desarrollo, en los meses de escasa precipitación.

4.3. Modelos para estimar biomasa de ramas, frutos y hojas y área de hojas

Se generaron los modelos matemáticos siguientes (cuadro 9) para estimar la biomasa de varios órganos y área foliar de las hojas de árboles de naranja.

Cuadro 9. Modelos matemáticos para estimar biomasa de ramas de varios grados de dureza, frutos, hojas y área de hojas de naranja ‘Valencia Tardía’.

ÓRGANO	MODELO	n	R ²	C(p)
Ramas de dureza 1	$B = -0.0275 (\text{PROMDB}) + 0.0161 (\text{NH}) + 0.0010 (\text{VCF})$	50	0.95	7.73
Ramas de dureza 2	$B = 0.0015 (\text{LONG}) + 0.0012 (\text{VCF})$	60	0.98	1.78
Ramas de dureza 3	$B = 0.0921 (\text{PROMDB}) + 0.0016 (\text{VCF})$	50	0.99	2.01
Ramas de dureza 4	$B = 0.00071 (\text{VCF})$	60	0.99	1.14
Frutos	$B = 1.1227 (\text{DP}) - 1.3319 (\text{DE}) - 0.0048 (\text{DP}^2) + 0.0148 (\text{DE}^2)$	300	0.99	4.00
Hojas (Biomasa)	$B = 0.0886 (\text{AL}) - 0.0348 (\text{LONPEC})$	300	0.97	0.33
Hojas (Área)	$\text{AF} = 8.1629 (\text{AL}) - 3.6938 (\text{LONPEC})$	300	0.97	3.65

C(p) = estadístico de Mallows; R² = coeficiente de determinación; n = número de muestras; B = biomasa (g); AF = área de hojas (cm²), Rama x = rama con grado de dureza x (donde x = 1, 2, 3 ó 4); PROMDB = promedio diámetro basal (mm); NH = número de hojas; VCF = volumen calculado por formulas (cm³); LONG = longitud (mm); DP = diámetro polar (mm); DP2 = DP al cuadrado; DE = diámetro ecuatorial (mm); DE2 = DE al cuadrado; AL = ancho de lámina (cm); LONPEC = longitud del pecíolo (cm).

En lo que respecta a las variables que participan en los modelos (cuadro 10), se nota que el volumen de las ramas calculado por fórmulas, diámetro ecuatorial y ancho de lámina en ramas, frutos, y hojas respectivamente, tienen una participación sobresaliente en los modelos en su forma lineal y cuadrática con otras variables.

Cuadro 10. Valores de la R^2 parciales de las variables independientes de los modelos seleccionados para estimar la biomasa de las ramas de varios grados de dureza, frutos y hojas y área de hojas de naranja ‘Valencia Tardía’.

ÓRGANO	Variable	R^2 Parcial
Ramas de dureza 1	VCF	0.9341
	NH	0.0103
	PROMDB	0.0069
Ramas de dureza 2	VCF	0.9569
	LONG	0.0238
Ramas de dureza 3	VCF	0.9830
	PROMDB	0.0079
Ramas de dureza 4	VCF	0.9958
Frutos	DE ²	0.9869
	DE	0.0049
	DP	0.0022
	DP ²	0.0002
Hojas (Biomasa)	AL	0.9698
	LONPEC	0.0009
Hojas (Área)	AL	0.9732
	LONPEC	0.0013

R^2 = Coeficiente de determinación; B = biomasa (g); AF = área foliar (cm^2), Rama X = rama con grado de dureza X (donde X = 1, 2, 3 ó 4); PROMDB = promedio diámetro basal (mm); NH = número de hojas; VCF = volumen calculado por formulas (cm^3); LONG = longitud (mm); DP = diámetro polar (mm); DP² = DP al cuadrado; DE = diámetro ecuatorial (mm); DE² = DE al cuadrado; AL = ancho de lámina (cm); LONPEC = longitud del pecíolo (cm).

Para los cuatro tipos de ramas, los modelos generados incluyen al volumen calculado por fórmulas como la variable independiente mas sobresaliente. Esto era de esperarse ya que el volumen de la rama está relacionado con su contenido de biomasa. En el cuadro 10, se puede observar que el volumen calculado por formulas contribuye con R^2

parciales muy altas a los modelos de las ramas, lo que indica que es la variable que mejor explica la variación de la biomasa de éstas.

En el modelo generado para estimar la biomasa de los frutos (cuadro 10), se encontró que el diámetro ecuatorial es la variable independiente mas sobresaliente, debido a que esta variable está muy relacionada con su contenido de biomasa, ya que presenta R^2 parciales muy altas, lo que demuestra que es la variable que mejor explica los cambios de la biomasa de los frutos.

Los modelos para estimar la biomasa y área de hojas (cuadro 10), incluyen a la variable independiente ancho de lámina como la variable que mas aporta al modelo con R^2 muy altas; esto es debido a su relación con el contenido de biomasa, siendo la variable que mejor explica la variabilidad de la biomasa de las hojas.

Aranguren (1996) generó para naranja ‘Valencia Tardía’ modelos de regresión lineal, indicando que la relación entre el peso fresco de los frutos con su altura (diámetro polar) y diámetro ecuatorial es alta, lo que quedó demostrado al obtener coeficientes de determinación de 0.88 y 0.87, respectivamente, permitiendo establecer que entre el 88 y 87 % de la variación del peso de los frutos puede atribuirse a variaciones en su tamaño y que entre un 12 y 13 % se debe al error; por lo tanto los modelos de regresión obtenidos pueden servir como estimadores de una variable en función de otra.

4.4. Biomasa de ramas y frutos

Las ramas de durezas 3 y 4 acumularon, en conjunto, más biomasa (2676.9 y 12968.7 g, respectivamente) que las ramas de durezas 1 y 2 (160 y 779.6 g, respectivamente) en el mismo período (cuadro 11), no obstante que los números de ramas de durezas 3 y 4 eran menores (2494 y 480, respectivamente) que los números de ramas de durezas 1 y 2 (6159 y 5254, respectivamente), lo cual nos indica que cada rama de durezas 3 ó 4 tuvo

una fuerza de demanda de carbohidratos mayor que cada rama de durezas 1 o 2 (figura 9); y, si consideramos que las ramas de durezas 3 y 4 en general no se alargaron en el período, por haber sido podadas, fue el incremento en diámetro el que más aportó en la acumulación de biomasa, como se comprueba con los datos de incremento en longitud (cuadro 5) y diámetro (cuadro 4). El engrosamiento referido se debió a la mayor actividad del cambium vascular en las ramas de durezas 3 y 4, causadas por la presencia de una cantidad mayor de auxinas que se traslocan por floema desde las ramas jóvenes de durezas 1 y 2 localizadas en la periferia de la copa del árbol (Baum *et al.*, 1991; Esau, 1972; Letham *et al.*, 1991; Roberts *et al.*, 1988).

La biomasa de las ramas se incrementó en todas las fechas de evaluación, pero, en general, la máxima acumulación de biomasa se dio en los primeros 185 días (16-03-2002 al 17-09-02) del estudio, con un 70 % aproximadamente, y es posible apreciar que las ramas de dureza 4 acumularon biomasa con más rapidez que las otras.

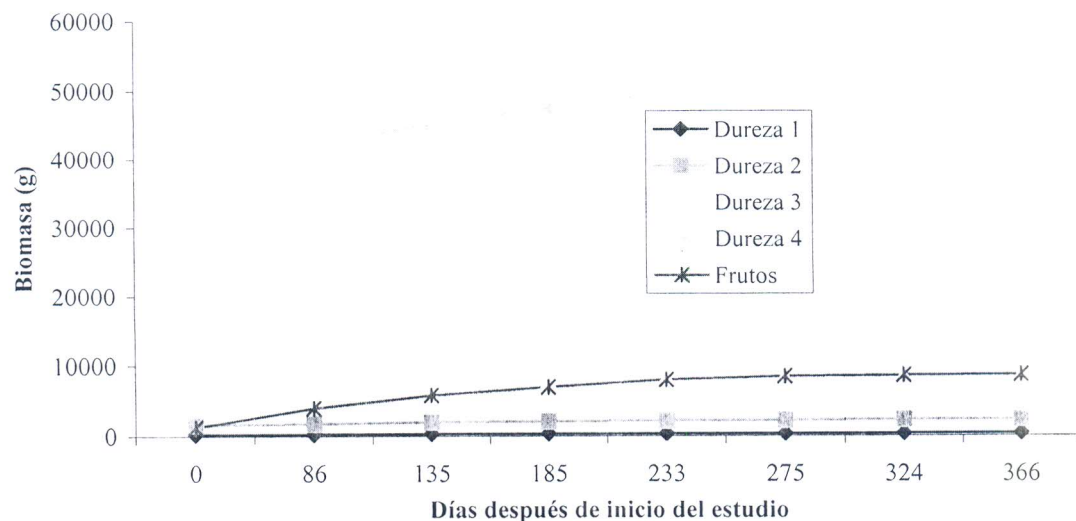


Figura 8. Biomasa total de ramas y frutos de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

Cuadro 11. Biomasa total de ramas y frutos de naranja ‘Valencia Tardía’ en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

PA	FECHAS	BT1	IABT1	IPBT1	BT2	IABT2	IPBT2	BT3	IABT3	IPBT3	BT4	IABT4	IPBT4	BTF	IABTF	IPBTF
0	16-03-02	240.6	-	-	1551.4	-	-	5833.3	-	-	38508.6	-	-	1255.7	-	-
86	10-06-02	290.0	49.4	30.9	1772.6	221.2	28.4	6597.6	764.3	28.6	42492.9	3984.3	30.7	3957.8	2702.1	36.6
135	29-07-02	328.1	87.5	23.8	1993.7	442.3	28.4	7282.4	1449.2	25.6	45081.6	6572.9	20.0	5815.7	4560.0	25.2
185	17-09-02	348.1	107.5	12.5	2094.7	543.2	13.0	7742.6	1909.3	17.2	47657.3	9148.6	19.9	6940.3	5684.6	15.2
233	04-11-02	362.0	121.0	8.6	2170.7	619.3	9.7	8084.3	2251.0	12.8	49961.9	11453.3	17.8	7978.9	6723.2	14.1
275	16-12-02	375.5	134.9	8.4	2229.9	678.4	7.6	8282.1	2448.8	7.4	50594.1	12085.5	4.9	8435.1	7179.4	6.2
324	03-02-03	388.1	147.5	7.9	2282.9	731.5	6.8	8421.1	2587.8	5.2	51169.7	12661.1	4.4	8549.1	7293.4	1.5
366	17-03-03	400.6	160.0	7.8	2331.0	779.6	6.2	8510.2	2676.9	3.3	51477.3	12968.7	2.4	8641.4	7385.7	1.3
%	-	-	0.66	-	-	3.25	-	-	11.16	-	-	54.10	-	-	30.81	-

PA = periodo acumulado (días); BTX = biomasa (g) total de ramas de dureza X (donde X = 1, 2, 3, ó 4); IABTX = incremento acumulado de la biomasa (g) total de ramas de dureza X; IPBTX = incremento relativo de la biomasa (%) total de ramas de dureza X, en el periodo próximo anterior; BTF = biomasa (g) total de frutos; IABTF = incremento acumulado de la biomasa (g) total de frutos; IPBTF = incremento relativo de la biomasa (%) total de frutos en el periodo próximo anterior; % = porcentaje respecto a la cantidad total de biomasa de ramas y frutos.

Hay una relación inversa al comparar la acumulación de biomasa (cuadro 11) con el número de hojas (cuadro 7), porque las ramas de durezas 3 y 4 acumularon más biomasa, pero presentaron menos hojas porque eran ramas de mayor edad que ya se habían defoliado y que se encuentran más al interior de la copa del árbol, mientras que las ramas de durezas 1 y 2 tuvieron más hojas y se encuentran en la periferia de la copa del árbol, pero acumularon menos biomasa. Esta misma tendencia se observó en la biomasa promedio de ramas (cuadro 12, figura 10).

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con lo encontrado en durazno por Chalmers y Van den Ende (1974), quienes identificaron a las ramas estructurales como los principales órganos de demanda de carbohidratos, superando a las ramas del año que se encuentran en activo crecimiento; por su parte, Caruso *et al.* (1999) determinaron que las ramas de más de un año de edad de durazno cv. Flordaprince acumularon el 60 % de la biomasa total acumulada por la parte aérea en la estación de crecimiento, lo que concuerda con los resultados obtenidos aquí; en donde, las ramas de dureza 4 acumularon más biomasa (54 %), seguido por los frutos (31 %) y en menor proporción las ramas de durezas 3, 2, y 1 (11, 3, y 1 %, respectivamente).

Del 16 de marzo al 17 de septiembre de 2002 (185 días), los frutos del árbol acumularon la mayor cantidad de biomasa, que el resto del período de evaluación (septiembre de 2002 a marzo de 2003) ya que hubo una disminución constante en el crecimiento de los frutos. Comportamiento similar presentaron las ramas de dureza 1, 2, 3, y 4 en la acumulación de biomasa. De la primera (16 de marzo de 2002) a la última fecha de evaluación (17 de marzo de 2003) se presentó una disminución constante del incremento de la biomasa. Esta dinámica de acumulación de biomasa de los frutos se da de manera natural porque el máximo crecimiento del fruto lo expresa en las primeras fases de desarrollo (Aranguren, 1996); es decir, después del amarre de los frutos y conforme se acerca a la madurez fisiológica, el incremento en crecimiento (diámetro) disminuye al igual que la acumulación de biomasa. La biomasa promedio (cuadro 12, figura 10) de cada fruto tuvo el mismo

marzo de 2002 y el 17 de marzo de 2003, tiempo que duró el estudio.

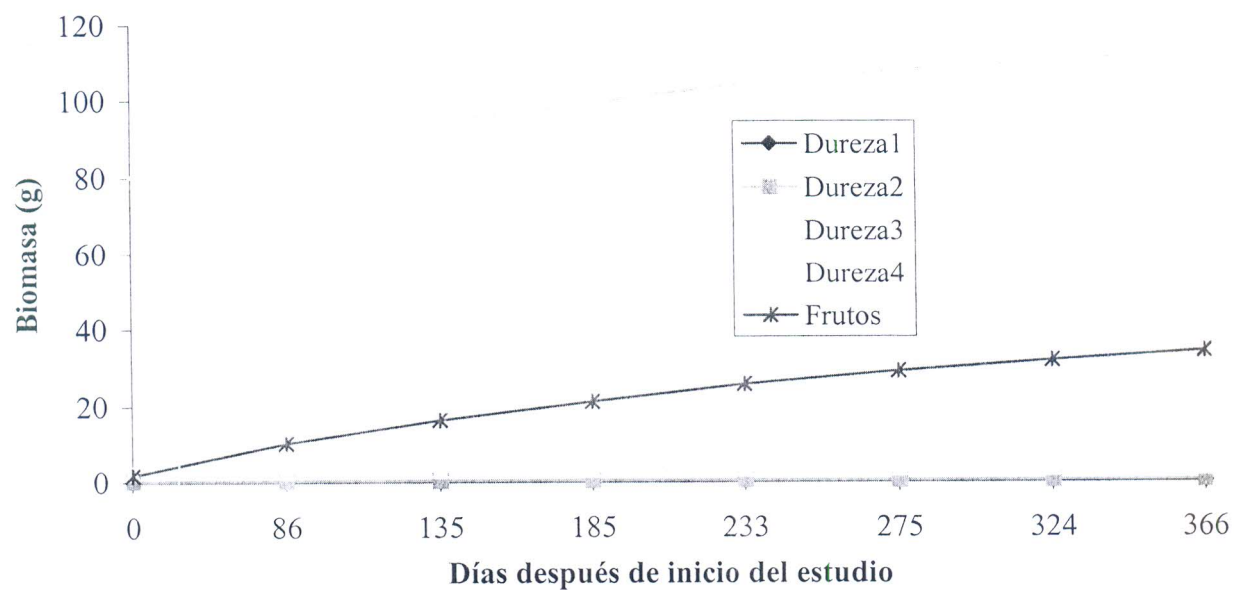


Figura 9. Biomasa individual de ramas y frutos de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

Cuadro 12. Biomasa individual de ramas y frutos de naranja 'Valencia Tardía' en El Cabellal, Mpio. de Martínez de la Torre, Veracruz. Marzo 2002-marzo 2003.

PA	FECHAS	BP1	IABP1	IPBP1	BP2	IABP2	IPBP2	BP3	IABP3	IPBP3	BP4	IABP4	IPBP4	BPF	IABPF	IPBPF
0	16-03-02	0.05	-	-	0.25	-	-	2.34	-	-	80.23	-	-	1.72	-	-
86	10-06-02	0.06	0.01	33.3	0.29	0.04	30.76	2.65	0.31	27.43	88.53	8.30	25.90	10.19	8.47	26.06
135	29-07-02	0.07	0.02	33.3	0.32	0.07	23.07	2.92	0.58	23.89	93.95	13.72	16.91	16.35	14.63	18.95
185	17-09-02	0.08	0.03	33.3	0.34	0.09	15.38	3.10	0.76	15.92	99.31	19.08	16.72	21.19	19.47	14.89
233	04-11-02	0.08	0.03	0.0	0.35	0.10	7.69	3.24	0.90	12.38	104.12	23.89	15.01	25.73	24.01	13.96
275	16-12-02	0.08	0.03	0.0	0.36	0.11	7.69	3.34	1.00	8.84	107.72	27.49	11.23	29.12	27.40	10.43
324	03-02-03	0.08	0.03	0.0	0.37	0.12	7.69	3.42	1.08	7.07	110.23	30.00	7.83	31.87	30.15	8.46
366	17-03-03	0.08	0.03	0.0	0.38	0.13	7.69	3.47	1.13	4.42	112.27	32.04	6.36	34.22	32.50	7.23

PA = periodo acumulado (días); BPX = biomasa (g) promedio de ramas durezza X (donde X = 1, 2, 3, ó 4); IABPX = incremento acumulado de la biomasa (g) promedio de ramas de durezza X; IPBPX = incremento relativo de la biomasa (%) promedio de ramas de durezza X, en el periodo próximo anterior; BPF = biomasa promedio de frutos (g); IABPF = incremento acumulado de la biomasa promedio de frutos (g); IPBPF = incremento relativo de la biomasa promedio de frutos (g), en el periodo próximo anterior.

en los diámetros polares y ecuatoriales y porque los frutos ya habían llegado a su madurez fisiológica, de tal manera que ya no crecieron.

Los incrementos del crecimiento en diámetro de frutos, de marzo a julio de 2002 pudieron deberse a las temperaturas relativamente altas de 25° C a 29.3° C durante este período, y a la abundante lluvia que se presentó en los meses de mayo y junio, que favorecieron el aumento de tamaño del fruto. Sin embargo, de junio 2002 a marzo 2003, el crecimiento del diámetro disminuyó de manera gradual hasta que los frutos llegaron a la madurez fisiológica, manifiesta por la falta de cambios en el tamaño del fruto y principalmente debido a la escasa precipitación que se presentó en ese periodo y por que así se presenta de manera natural.

V. CONCLUSIONES

Las ramas menos lignificadas, de aparición reciente, foliadas (dureza 1), se alargaron más que las ramas de años anteriores, de dureza más avanzada (durezas 2, 3, y 4), por lo que se acepta la hipótesis 1.2.1.

Las ramas de los años anteriores (dureza 4) acumulan mayor cantidad de biomasa que las ramas jóvenes de aparición reciente, debido a lo cual se acepta la hipótesis 1.2.2.

Los frutos son los órganos aéreos que acumulan la mayor cantidad de biomasa por órgano individual durante la estación de crecimiento. Con esta conclusión se acepta la hipótesis 1.2.3.

Las ramas de dureza 4 son los órganos aéreos que acumulan la mayor cantidad de biomasa por órgano total durante la estación del crecimiento, por lo que se acepta la hipótesis 1.2.4.

Las ramas de dureza más avanzada (dureza 4), crecieron más en grosor (diámetro) que las ramas de aparición reciente. Con esta conclusión se acepta la hipótesis 1.2.5.

En conjunto, las ramas estructurales (dureza 4) acumulan más biomasa (12968.7 g) que los frutos (7385.7 g) y que las ramas de durezas 1, 2, y 3 (160.0, 779.6, y 2676.9 g, respectivamente) en plantas de naranja cv. Valencia Tardía en un ambiente cálido húmedo, por lo que se acepta la hipótesis 1.2.6.

Los modelos matemáticos generados por regresión estiman con alta precisión la biomasa de las ramas, frutos, hojas y área de hojas de árboles de naranja cv. Valencia Tardía. Con esta conclusión se acepta la hipótesis 1.2.7.

VI. LITERATURA CITADA

- Abbott, C. E. 1935. Blossom-bud differentiation in citrus trees. *American Journal of Botany* 22: 476-485.
- Afifi, A. A.; and V. Clark. 1984. Computer-aided multivariate analysis. Ed. Lifetime Learning Publications. U S A. pp. 48-67, 142-146.
- Almaguer V., G. 1986. Caracterización de cuatro cultivares de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindhl.) en Chapingo, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Fruticultura, Colegio de Posgraduados. Montecillo, Edo. de México. 93 p.
- Almaguer V., G. 1994. Producción Forzada en naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck). Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Edo. de México. 128 p.
- Almaguer V., G.; H. Cruz H. y J. R. Espinoza E. 1992. The Effects of Growth Regulators on the Promotion of Out-of-Season Harvest of orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) Cv. Valencia Tardía in Veracruz, México. Proceedings of the. International Society of Citriculture: 468-470.
- Aranguren G., M. 1996. Análisis de crecimiento en frutos de cultivares cítricos para decidir sus fechas de cosecha comercial. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Fisiología Vegetal. Colegio de Posgraduados. Montecillo, edo. de México.

- Ayalon, S. and S. P. Monselise. 1960. Flower bud induction and differentiation in the shamouti orange. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 75: 216-221.
- Bain, J. M. 1958. Morphological, anatomical and physiological changes in the developing fruit of the 'Valencia' orange, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. *Australian Journal of Botany* 6 (1): 24.
- Baum, S. F.; R. Aloni; C. A. Peterson. 1991. Role of cytokinin in vessel regeneration in wounded *Coleus* internodes. *Annals of Botany* 67 (6): 543-548.
- Becerra, S. 1989. Efecto de dos periodos de sequía en la floración de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* (Christan.) Swingle). Tercer Congreso de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. Oaxtepec, Morelos, México.
- Caruso, T.; P. Inglese; F. Sottile; F. P. Marra. 1999. Effect of planting system on productivity, dry-matter partitioning and carbohydrate content in above-ground components 'Flordaprince' peach trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124 (1): 39-45.
- Chalmers, O.; B. Van den Ende. 1974. Productivity of peach trees: factors affecting dry-weight distribution during tree growth. *Annals of Botany* 39: 423-432.
- Cordova, C. V. 1976. Fisiología vegetal. Ed. H. Blume. Madrid, España. 439 p.
- Cruz H., H. 1993. Desfasamiento de cosecha de la naranja mayera (*Citrus sinensis* L. Osbeck) cv. Valencia Tardía en Martínez de la Torre, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 58 p.
- Curti D., S. A. 1989. Reguladores del crecimiento y prácticas de manejo para modificar la floración del naranjo 'Valencia' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) en condiciones

- tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 116 p
- Curti D., S. A. 1990. Efecto de la defoliación y raleo de frutos pequeños en el desarrollo del naranjo cv. Valencia Tardía. XIII Congreso de la Sociedad Mexicana de Fitogenética. Resúmenes. Cd. Juárez, Chihuahua. pp. 164.
- Del Valle, N. 1974. Desarrollo y maduración del fruto en diferentes especies del género Citrus. Centro Agrícola 1 (1): 35-63.
- Esau, K. 1972. Anatomía vegetal. Ed. John Wiley and Sons. U. S. A. 767 pp.
- Espinoza E., J. R. 2000. Efecto de dos regímenes térmicos sobre el crecimiento de árboles de durazno (*Prunus pérsica* (L) Batsch). Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados. Montecillos, edo. de México. 124 p.
- Espinoza E., J. R.; J. Ortiz C.; M. C. Mendoza C.; J. A. Villaseñor A.; A. Villegas M.; C. Peña V.; G. Almaguer V. 1998. Modelos matemáticos para la estimación del peso y volumen de ramas de durazno (*Prunus persica* L. Batsch). Revista Chapingo Serie Horticultura 4 (2): 125-131.
- Espinoza E., J. R.; y G. Almaguer V. 2003. Modelos matemáticos para estimar la biomasa de órganos aéreos de plantas de manzana (*Malus domestica* Mill.) Agua Nueva 2. In: Memoria del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental. 20 al 24 de octubre. Chapingo, Edo. de México. p. 283.
- FAO. 2001. Frutos cítricos frescos y elaborados. Estadísticas Anuales. Ed. FAO. 35 p.
- Frómata, E. 1976. Fases fenológicas en los cítricos. Boletín de reseñas. Serie Agricultura 3 (8): 3-47.

- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Ed. UNAM. México. 217 p.
- Hernández S., H. 2004. Producción y distribución de biomasa en plantas fructificantes de durazno (*Prunus persica* L. Batsch.) en un ambiente semicálido húmedo. Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 60 p.
- Holtzhausen, L. C. 1969. Observations on the developing fruit of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. 'Washington navel' from anthesis to ripeness. U. St. Technical Communication 91: 15-20.
- Infante G., S.; y G. P. Zárate de L. 1984. Métodos estadísticos. Ed. Trillas. México. 327 p.
- Letham, R. T.; T. G. V. Wilkins; R. S. Higgins. 1978. Phytohormones and related compounds. Ed. Elsevier-North Holland. The Netherlands. Vols. 1 y 2.
- Lindstrom, H. 1997. Fiber length, tracheid diameter, and latewood percentage in Norway spruce: development from pith outwards. Wood and fiber Science 29: 21-34.
- Lioret, C. 1974. L'analyse des courbes de croissance. Physiologie vegetale 12: 413-434.
- López F., E.; G. Almaguer V.; T. Corona S. 1989. Modelos matemáticos para cuantificar frío y predecir brotación en manzano *Malus pumila* Mill, cultivar Tropical Beauty y ciruelo *Prunus salicina* Lindhl, cultivar Shiro en Chapingo, Méx. Revista Chapingo 62-62 (13-14): 86-89.
- Lord, E. M. and K. J. Eckard. 1985. Shoot development in *Citrus sinensis* L. cv. Washington navel orange. I. Floral and inflorescence ontogeny. Botanical Gazette. 146(3): 320-326.

- regulators. Ed. Springer-Verlag. 154 pp.
- SAGARPA. 2002. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. México.
- Sauer, M. R. 1951. Growth of orange shoots. Australian Journal of Agricultural Research 2: 105-117.
- Schwartz, M. D.; G. J. Carbone; G. L. Reighard; W. R. Okie. 1997. A model to predict peach phenology and maturity using meteorological variables. Hortscience 32 (2): 213-216.
- Singh, D.; R. Singh; V. U. M. Rao; R. R. Karwasra; M. S. Beniwal; D. Singh; R. Singh. 1996. Relation between weather parameters and Karnal bunt (*Neovossia indica*) in wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agricultural Sciences 66: 522-525.
- Taiz, L. and E. Zieger. 1998. Plant Physiology. Ed. The Benjamin/Cummings Publishing company, Inc U.S.A. 559 pp.
- Thornley, J. H. M. 1976. Mathematical models in plant physiology. Ed. Academic Press. U S A. 318 p.
- Torres de la Noval, W. 1984. Análisis del crecimiento de las plantas. Revista de Cultivos tropicales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Cuba. 38p.
- Watada, A. E.; R. C. Herner; A. A. Kader; R. J. Romani and G. L. Staby. 1984. Terminology for the description of development stages of horticultural crops. Horticultural. Science 19: 20-21.
- Zamski, E.; A. A. Schafer. (eds.). 1996. Photoassimilate distribution in plants and crops. Ed. Marcel Dekker In. New York U.S.A. 904 pp.