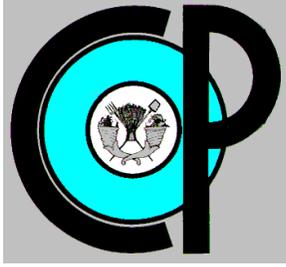


COLEGIO DE POSTGRADUADOS



INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

“Fenología y Desarrollo de Ciruelo Japonés (*Prunus salicina* Lindl. cv. Methley) en Texcoco, Estado de México”

JOSUÉ SANTIAGO GONZÁLEZ PÉREZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2016

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN.

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Josué Santiago González Pérez, alumno de esta institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías académicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución bajo la dirección del profesor Dr. A. Enrique Becerril Román, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "Fenología y Desarrollo de Ciruelo Japonés (*Prunus salicina* Lindl. cv. Methley) en Texcoco, Estado de México" y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías académicas que se deriven serán distribuidas entre la institución. El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, se comprometen a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta institución.

Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, diciembre de 2016.



Firma



Firma del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada "Fenología y Desarrollo de Ciruelo Japonés (*Prunus salicina* Lindl. cv. Methley) en Texcoco, Estado de México", realizada por el alumno: Josué Santiago González Pérez, bajo la dirección del Consejo Particular abajo indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: DR. ALBERTO ENRIQUE BECERRIL ROMÁN

ASESOR: DR. CIRO VELASCO CRUZ

ASESOR: DR. ABEL QUEVEDO NOLASCO

ASESOR: M.C. DAVID JAÉN CONTRERAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2016

“FENOLOGÍA Y DESARROLLO DE CIRUELO JAPONÉS (*Prunus salicina* Lindl. cv. Methley) EN TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO”

Josué Santiago González Pérez, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

Conocer y predecir el tiempo de ocurrencia de fases fenológicas de un cultivar de una especie frutal así como la evolución de la acumulación radical de los portainjertos frutales, permite calendarizar oportunamente las prácticas culturales y agronómicas, dar manejo específico a los estados de desarrollo y manejar el sistema radical. Para ello, es necesario calcular y conocer el tiempo fisiológico del cultivar y conocer regímenes térmicos del suelo que rodea a la raíz. Además, el Área Foliar (AF), la Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR), el Peso Específico de Hoja (PEH) y el contenido de nitrógeno son variables importantes en la producción de Materia Seca durante el ciclo fenológico de los cultivos.

El objetivo de esta investigación fue determinar las fechas de ocurrencia de las fases fenológicas del cv. Methley injertado sobre ciruelo ‘Mirobolano’ cultivado en clima templado de altura, así como determinar, en las principales fases fenológicas, densidades radicales, proporciones peso-fresco:peso-seco de raíces y la acumulación de crecimiento radical. También se planteó calcular los requerimientos térmicos de las fases fenológicas, y se analizó la evolución del AF, EUR, PEH y contenido de nitrógeno durante el ciclo fenológico, así como el grado de correlación (Spearman) existente entre variables fisiológicas y agrometeorológicas con diferentes fases fenológicas.

Con instrumentos y datos de estación meteorológica, fueron monitoreadas variables agrometeorológicas de importancia agronómica de especies frutales así como la humedad y temperatura del suelo. A través de muestreo por cuotas se eligieron veinte árboles de ciruelo japonés en los cuales fueron estudiadas las principales fases fenológicas (y algunas subfases) de los frutales de hueso; en cinco árboles fue

monitoreada la acumulación de crecimiento radical durante el transcurso de las fases fenológicas del cultivar. En los veinte árboles fueron cuantificados Grados Día de Desarrollo (GDD), Unidades Calor (UC) y Unidades Frío (UF) de cada una de las fases fenológicas. A partir de muestreos foliares fue determinada el AF, EUR, PEH y contenido de nitrógeno.

Durante floración, los flujos vegetativos iniciaban su mayor tasa de crecimiento, la cual, fue constante y simultánea al crecimiento y desarrollo de frutos, órganos que presentaron tres caídas, una en cada etapa de su crecimiento y desarrollo. El área foliar varió según la presencia de diferentes fases fenológicas, siendo mayor durante el crecimiento y desarrollo de frutos. La abscisión foliar fue iniciada por una infección de roya poco tiempo antes de que el ecoletargo se estableciera, para ser seguido por un endoletargo en el que serían acumuladas 235.8 UF que permitirían el hinchamiento y brotación de yemas. Durante todo el ciclo fenológico, se observó presencia de raíces y las mayores densidades radicales se presentan de 0-25 cm de profundidad; las mayores proporciones de materia seca radical, fueron observadas durante letargo y abscisión foliar, y las menores durante floración y fructificación; la máxima acumulación de raíces sucedió cuando la humedad y temperatura del suelo no fueron óptimas, pero en el cultivar no había crecimiento vegetativo y reproductivo. Se obtuvieron los GDD y UC propios de cada fase fenológica, donde se observó en ambos tipos de unidades, pequeñas variaciones cuantitativas para mismas fases fenológicas en los dos años estudiados (2015 y 2016). Se emplearon tres modelos de cuantificación de frío (Richardson *et. al.*, 1974; Vega *et. al.*, 1990; Shaltout y Unrath, 1983), con diferentes resultados de acumulación de UF, donde sólo dos modelos permitieron obtener cantidades de frío que permitieron a los árboles reanudar su crecimiento; se recomienda no emplear modelos de cuantificación de UF propios para latitudes templadas, en zonas intertropicales con clima templado de altura.

En ambos años, fue observada la disminución de AF a partir del inicio de abscisión foliar, y las Áreas Foliares más grandes sucedieron mientras ocurría la última parte de la

segunda etapa del crecimiento y desarrollo de frutos y el inicio de la madurez fisiológica de los primeros frutos formados. El grado de correlación existente entre el AF, la RFAi, el crecimiento vegetativo y el crecimiento y desarrollo de frutos, fue significativo. La EUR permitió el crecimiento de diversos órganos vegetales sin dejar de sintetizar materia seca foliar. En 2015, el PEH de las hojas en estados fenológicos lejanos a letargo fue mayor que el de hojas temporalmente cercanas al letargo; en 2016, durante la segunda etapa del crecimiento y desarrollo de frutos, simultánea a la acumulación radical y crecimiento en los flujos vegetativos, el PEH disminuyó, y existió un incremento constante concomitante a la tercera etapa del crecimiento de frutos, que abarcó también la madurez fisiológica y de cosecha. El PEH está significativa y positivamente correlacionado con el crecimiento vegetativo (flujos), y existió una fuerte asociación entre PEH y crecimiento de frutos. En 2015, el descenso de la cantidad de N fue paulatino y simultáneo al proceso de abscisión foliar, y, en general, el descenso del contenido de N fue determinado por la cercanía temporal del letargo; en 2016, la mayor disminución del contenido de N en hojas ocurrió cuando se registraron la mayor cantidad de eventos fenológicos simultáneos y se registró la mayor AF, y a partir del inicio de abscisión foliar y en el último periodo del crecimiento de flujos vegetativos el N continuó descendiendo y la abscisión foliar siguió su marcha. Los coeficientes de correlación de Spearman entre el contenido de N y el crecimiento vegetativo (flujos) en 2015 y 2016 fueron negativos. Una significativa correlación negativa expuso la fuerte demanda que los frutos hacen del N para lograr su crecimiento, y fue observado una correlación positiva entre el contenido de N y el AF.

Palabras clave: fase fenológica, requerimientos térmicos, contenido de nitrógeno, peso específico de hoja, correlación de Spearman.

“PHENOLOGY AND DEVELOPMENT OF JAPANESE PLUM (*Prunus salicina* Lindl. cv. Methley) IN TEXCOCO, MEXICO STATE”

Josué Santiago González Pérez, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRACT

To know and predict the time of occurrence of phenological phases of a cultivar of a fruit species as well as the evolution of the root accumulation of the fruit rootstocks, allows to timely schedule the cultural and agronomic practices, to give specific management to the states of development and to handle sophisticated the root system. For this purpose, it is necessary to calculate and know the physiological time of the cultivar and to know thermal regimes of the soil that surrounds the root. In addition, Leaf Area (LA), radiation-use efficiency (RUE), Specific Leaf Weight (ELW) and N content are important variables in the production of Dry Matter during the phenological cycle of crops.

The aim of this research was to determine the dates of occurrence of the phenological phases of cv. Methley grafted on Mirobolan plum cultivated in temperate height weather, as well as determining, in main phenological phases, radical densities, weight-fresh:weight-dry root proportions and radical accumulation. It was also proposed to calculate the thermal requirements of the phenological phases, and analyzed the evolution of LA, RUE, ELW and N content during the phenological cycle, as well as the degree of correlation (Spearman) that exists between physiological and agrometeorological variables with different phonological phases.

With instruments and agrometeorological data of a meteorological station, agrometeorological variables with agronomic importance for fruit species as well as soil moisture and temperature were monitored. Twenty Japanese plum trees were chosen through quota sampling, in which the main phenological phases (and some subphases) of the fruit orchards were studied; in five of these trees, the radical accumulation during the course of the phenological phases of the cultivar was monitored. In the twenty selected trees were quantified Growing Degree Days (GDD), Heat Units (HU) and Chilling

Units (CU) of each phenological phase. The LA, RUE, ELW and N content were determined from leaf samples.

During flowering, the vegetative flows began their highest growth rate, which was constant and simultaneous to the growth and development of fruits, organs that had three falls, one at each stage of their growth and development. The leaf area varied according to the presence of different phenological phases, being greater during the growth and development of fruits. Foliar abscission was initiated by a rust infection shortly before that the eco-lethargy was established, to be followed by an endoletargo in which 235.8 CU would be accumulated and would allow the swelling and sprouting of buds. During the whole phenological cycle, root presence was observed and the highest root densities were present at depth 0-25 cm; the highest proportions of dry matter were observed during lethargy and foliar abscission, and the lowest during flowering and fruiting; the highest accumulation of roots happened when the humidity and temperature of the soil were not optimal but in the cultivar there was no vegetative and reproductive growth. The GDD and CU were obtained from each phenological phase, where small quantitative variations were observed in both types of units for the same phenological phases in the two years studied (2015 and 2016). Three models of chilling quantification were used (Richardson et al., 1974, Vega et al., 1990 and Shaltout and Unrath, 1983), with different UF accumulation results, where only two models allowed to obtain amounts of chilling that allowed the trees to resume their growth; It is recommended not to use models of quantification of CU own for temperate latitudes, in intertropical zones with temperate climate of height.

In both years, the decrease of Leaf Area (LA) from the beginning of foliar abscission was observed, and the largest Leaf Areas happened while the last part of the second stage of the growth and development of fruits and beginning of the physiological maturity of the first Fruits formed. The degree of correlation between LA, Photosynthetic Active intercepted Radiation (PAiR), vegetative growth and fruit growth and development was significant. The RUE allowed the growth of various plant organs while continuing to

synthesize leaf dry matter. In 2015, the Specific Leaf Weight (SLW) in phenological states far from lethargy was greater than that of leaves temporarily close to lethargy; in 2016, during the second stage of fruit growth and development, simultaneous to radical accumulation and growth in vegetative flows, SLW decreased, and there was a constant increase concomitant to the third stage of fruit growth, which also included physiological and harvesting maturity. SLW is significantly and positively correlated with vegetative growth (flows), and there was a strong association between SLW and fruit growth. In 2015, the decrease in the amount of N was gradual and simultaneous to the foliar abscission process, and, in general, the decrease in the N content was determined by the temporary closeness of the lethargy; In 2016, the greatest decrease in N content in leaves occurred when the greatest number of phenological events were recorded and the highest LA was recorded, and from the beginning of foliar abscission and in the last period of growth of vegetative flows the N continued to fall and foliar abscission continued its march. The Spearman correlation coefficients between N content and vegetative growth (flows) in 2015 and 2016 were negative. A significant negative correlation exposed the strong demand that the fruits make of the N to achieve its growth, and a positive correlation between the N content and the LA was observed.

Key words: phenological phase, thermal requirements, nitrogen content, specific leaf weight, Spearman's correlation.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Dedico y agradezco, por su apoyo recibido, a:

- Martín González Pérez, Fabiola González Pérez y Omar Franco Mora.
- Mis padres, demás hermanos, tíos y tías Pérez Ramírez e hijos.
- Familiares paternos.
- Mis sobrinos y ahijada, así como a mis padrinos.
- Mi sobrino José Espinosa (pepinillo o pirañita).
- Consejero y asesores por su valioso e inmenso apoyo académico y moral.
- Ingenieros y hermanos Jesús Enrique, Oscar Melesio y Carlos Soto Ramos, así como a los doctores Samuel Salazar García, Martín Rubí Arriaga, Araan Morales y Álvaro Castañeda por su enorme contribución en mi formación académica y profesional.
- Joaquín Campos Estrada.
- Profesores de quien recibí cátedra, a saber, Dra. Teresa Colinas León, Dr. Alfredo López Jiménez, M. C. Alfonso Muratalla Lúa, Dr. Benito Ramírez Valverde, Dr. Ángel Villegas Monter, Dr., Javier Suárez Espinosa, Dr. Vicente Espinosa Hernández y Mtro. Juan Espinosa González; especial dedicatoria y agradecimiento a los doctores Abel Quevedo Nolasco y Ciro Velazco Cruz.
- Dr. Eduardo García Villanueva
- Paisano Químico Olegario Rosales Sánchez.
- Araceli López Gutiérrez por su compañía y apoyo.
- Laboratoristas y trabajadores del Colpos, así como a mis compañeros Edgar Vázquez Melo y Miguel Ventura Rivera.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	xv
LISTA DE FIGURAS	xvi
LISTA DE CUADROS DE APÉNDICE	xxi
I. INTRODUCCIÓN	1
I.I Objetivos	2
I.II Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Ciruelo Japonés (<i>Prunus salicina</i> Lindl).....	4
2.2 Requerimiento climáticos del ciruelo japonés (<i>Prunus salicina</i>)	4
2.2.1 Suelo	4
2.2.2. Contenido de humedad en el suelo.....	5
2.2.3 Temperatura del suelo.....	6
2.2.4 Temperatura ambiental	7
2.2.5 Radiación solar	8
2.2.6 Precipitación.....	8
2.3 Fenología y régimen térmico	10
2.4 Estudios fenológicos en <i>Prunus salicina</i> Lindl.	12
2.4.1 Crecimiento vegetativo	12
2.4.2. Crecimiento radical	14
2.4.3. Hinchamiento yemas	15
2.4.4. Brotación y crecimiento foliar	16
2.4.5. Floración	18
2.4.6 Crecimiento y desarrollo de frutos	19
2.4.7 Caída y amarre de frutos	20
2.4.8 Madurez fisiológica y de cosecha de frutos	21
2.4.9 Abscisión foliar.....	21

2.4.10 Letargo.....	22
2.5 Fruto de <i>Prunus salicina</i> cv. Methely.....	23
2.6 Algunos aspectos ecofisiológicos en la fenología	24
2.6.1 Peso Específico de Hoja	24
2.6.2 Concentración de nitrógeno en hojas	24
2.6.3. Eficiencia en el Uso de la Radiación.....	26
2.7 Eficiencia de producción	27
2.8 Descripción relacional de variables fenológicas, fisiológicas y agrometeorológicas.....	28
2.9 Medidas repetidas, modelos de regresión y curvas de crecimiento.....	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1 Lugar del experimento	31
3.2 Material vegetal y manejo del lote experimental	32
3.3 Registro de variables agrometeorológicas	33
3.3.1 Contenido de humedad en el suelo.....	33
3.3.2 Temperatura del suelo.....	34
3.3.3 Temperatura ambiental	34
3.3.4 Radiación solar	35
3.3.5. Precipitación.....	36
3.4 Determinación y análisis de las etapas fenológicas de <i>Prunus</i>	36
<i>salicina</i> cv. Methley injertado sobre <i>Prunus cerasifera</i>	36
3.4.1 Registro de etapas fenológicas.....	36
3.4.2 Cálculo de requerimiento térmico (GDD)	37
3.4.3 Régimen Térmico del sitio experimental.	37
3.4.4 Crecimiento vegetativo (flujos vegetativos).....	38
3.4.5 Densidad y crecimiento radical acumulado.....	38
3.4.6. Hinchamiento de yemas.....	40
3.4.7 Brotación y crecimiento foliar	40
3.4.8 Floración.....	41

3.4.9 Crecimiento y desarrollo de frutos.....	42
3.4.10 Caída y amarre de frutos	43
3.4.11 Madurez fisiológica y de cosecha de frutos.....	43
3.4.12 Abscisión foliar.	44
3.4.13 Letargo y cálculo de requerimiento de frío (Unidades Frío).....	45
3.5 Estudio de variables fisiológicas	45
3.5.1 Peso Específico de Hoja.....	45
3.5.2 Concentración de nitrógeno en hojas	46
3.5.3. Eficiencia en el Uso de la Radiación.....	47
3.6 Eficiencia de producción.....	47
3.7 Correlación de fases fenológicas con variables agrometeorológicas y fisiológicas	47
3.8 Análisis de datos.....	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1 Análisis de datos agrometeorológicos.	49
4.1.1 Contenido de Humedad en el Suelo	49
4.1.2 Temperatura del suelo.....	54
4.1.3 Temperatura ambiental	59
4.1.4 Radiación solar.....	63
4.1.5 Precipitación.....	66
4.2 Fenología y requerimiento térmico de <i>Prunus Salicina</i> cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirobolano.....	72
4.2.1 Crecimiento vegetativo.....	73
4.2.2 Densidad y acumulación del crecimiento radical	78
4.2.3 Hinchamiento de yemas.....	94
4.2.4 Brotación de yemas y crecimiento foliar.....	96
4.2.5. Floración.....	102
4.2.6 Crecimiento y desarrollo de frutos.....	105
4.2.7 Caída y amarre de frutos	109

4.2.8 Madurez fisiológica y de cosecha de frutos	114
4.2.9 Abscisión foliar.....	116
4.2.10 Letargo.....	120
4.2.11 Desfase e intensidad de fases fenológicas en los ciclos productivos 2015 y 2016. Las principales causas que afectan la periodicidad de las fases fenológicas en árboles frutales son la marcha anual de la temperatura, la variación periódica del día y el régimen pluviométrico (de Fina y Ravello, 1973).	125
4.2.12 Requerimientos térmicos del cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirobolano	130
4.3 Aspectos ecofisiológicos en la fenología	134
4.3.1 Peso Específico de Hoja	134
4.3.2 Concentración de nitrógeno en hojas	139
4.3.3 Eficiencia en el Uso de la Radiación	145
4.4 Eficiencia de producción.....	150
4.5 Descripción relacional de variables fenológicas, fisiológicas y agrometeorológicas	153
4.5.1 Crecimiento vegetativo	153
4.5.2 Acumulación de crecimiento radical.....	158
4.5.3 Foliación.....	159
4.5.4 Crecimiento y desarrollo de frutos.....	161
V. CONCLUSIONES	165
VI. LITERATURA CITADA	167
VII. APÉNDICE	186
VIII. RECOMENDACIONES.....	193

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Ejemplificación de una fase fenológica y variables agrometeorológicas y fisiológicas relacionadas estadísticamente.	48
Cuadro 2. Densidad radical de septiembre de 2015 a agosto de 2016 (Raíces de crecimiento y nutrición a los 0-25 cm de profundidad (CN 0-25); raíces de crecimiento y nutrición a los 25-50 cm de profundidad (CN 25-50); raíces intermedias y conductoras a los 0-25 cm de profundidad (IC 0-25); y raíces intermedias y conductoras a los 25-50 cm de profundidad (IC 25-50)).	80
Cuadro 3. Diferencias de las densidades radicales en función de la profundidad del suelo. Se muestran dos grupos de raíces, crecimiento y nutrición e intermedias y conductoras, ambos a profundidades 0-25 y 25-50 cm y a 40 cm de distancia horizontal al tronco.	81
Cuadro 4. Proporciones “peso fresco: peso seco” de raíces de crecimiento y de nutrición a 0-25 cm de profundidad de septiembre 2015 a agosto de 2016.	84
Cuadro 5. Proporciones “peso fresco: peso seco” de raíces de crecimiento y de nutrición a 26-50 cm de profundidad de septiembre 2015 a agosto de 2016.	85
Cuadro 6. Proporciones “peso fresco: peso seco” de raíces intermedias y conductoras a 0-25 cm de profundidad de septiembre 2015 a agosto de 2016.	86
Cuadro 7. Proporciones “peso fresco: peso seco” de raíces intermedias y conductoras a 26-50 cm de profundidad de septiembre 2015 a agosto de 2016.	87
Cuadro 8. Regímenes térmicos durante la caída de frutos en ambos ciclos productivos.	114
Cuadro 9. Duración de las fases fenológicas en el ciclo productivo 2015.	127
Cuadro 10. Duración de las fases fenológicas en el ciclo productivo 2016.	129
Cuadro 11. Fases fenológicas con sus respectivas fechas de inicio y fin, y sus constantes térmicas.....	132
Cuadro 12. Eficiencia de producción de los ciclos productivos 2015 y 2016.....	151

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del huerto San José en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos (Fuente: Google Maps, 2015).	31
Figura 2. Climograma de Texcoco, México (Fuente: Climate-data.org 2015).	32
Figura 3. Huerto “San José” de ciruelo japonés cv. ‘Methley’ en el Campus Montecillo Colegio de Postgraduados.	33
Figura 4. Medición del contenido de humedad en el suelo.....	33
Figura 5. Medición de la temperatura máxima y mínima del suelo a los 30 y 50 cm de profundidad.	34
Figura 6. Estación Meteorológica del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.	35
Figura 7. Medición de la radiación incidente con rastreador de clima.	35
Figura 8. Identificación de ramas donde se midió el crecimiento vegetativo.	38
Figura 9. Muestreo radical, a) extracción de raíz b) tamizado de suelo y separación de raíces jóvenes y de crecimiento.	39
Figura 10. Medición de área foliar con un integrador.	41
Figura 11. Conteo del número total de botones florales.	42
Figura 12. Crecimiento y desarrollo de frutos.	42
Figura 13. Caída de frutos.	43
Figura 14. Determinación de madurez fisiológica y de cosecha.	44
Figura 15. Determinación de, a) amarillamiento foliar b) abscisión de hoja basal c) abscisión de hoja apical	45
Figura 16. Secado de hojas en estufa a 70 °C.	46
Figura 17. Determinación del contenido de nitrógeno foliar con un destilador Kjeldahl.	46
Figura 18. Contenido de humedad en el suelo durante el ciclo productivo 2015 (C.C., Capacidad de Campo; C.H.M.P, Contenido de Humedad Mínimo Permisible).....	50
Figura 19. Contenido de humedad en el suelo durante el periodo vegetativo y reproductivo en 2016 (C.C., Capacidad de Campo; C.H.M.P, Contenido de Humedad Mínimo Permisible).....	52

Figura 20. Temperatura del suelo a los 0-25 cm de profundidad durante el ciclo productivo 2015.....	55
Figura 21. Temperatura del suelo a los 0-25 y 26-50 cm de profundidad de noviembre a diciembre de 2015.....	56
Figura 22. Temperatura del suelo a los 0-25 y 26-50 cm de profundidad durante el periodo vegetativo y reproductivo en 2016.....	57
Figura 23. Temperaturas ambientales diarias durante el ciclo productivo 2015 y temperaturas cardinales del ciruelo japonés cv. Methley.....	59
Figura 24. Temperaturas ambientales diarias durante el periodo vegetativo y reproductivo en 2016 y temperaturas cardinales japonés cv. Methley.....	61
Figura 25. Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) e interceptada (RFAi) del 24 de julio al 18 de septiembre 2015.	64
Figura 26. Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) e interceptada (RFAi) durante el periodo vegetativo y reproductivo en 2016.....	65
Figura 27. Cobertera orgánica de las hileras de los árboles frutales.....	67
Figura 28. Precipitación durante el ciclo productivo 2015.	68
Figura 29. Daño foliar causado por precipitaciones sólidas (granizo) del 20 y 23 de julio de 2015.	69
Figura 30. Precipitación durante el periodo vegetativo y reproductivo en 2016.	70
Figura 31. Crecimiento vegetativo (flujos) en el ciclo productivo 2015.....	73
Figura 32. Crecimiento vegetativo (flujos) en el ciclo productivo 2016.....	75
Figura 33. Acumulación de raíces de crecimiento y nutrición y contenido de humedad en el suelo, de septiembre de 2015 a agosto de 2016 (CN 0-25, raíces de crecimiento y nutrición a los 0-25 cm de profundidad; CN 26-50, raíces de crecimiento y nutrición a los 26-50 cm de profundidad; C.C. 0-25, capacidad de campo a los 0-25 cm de profundidad; C.C. 26-50, capacidad de campo a los 26-50 cm de profundidad; C.H.M.P. contenido de humedad mínimo permisible).....	88
Figura 34. Acumulación de raíces de crecimiento y nutrición y temperatura del suelo, de septiembre de 2015 a agosto de 2016 (CN 0-25, raíces de crecimiento y nutrición a los 0-25 cm de profundidad; CN 26-50, raíces de crecimiento y nutrición a los 26-50 cm de profundidad; T° min media (25-50 cm), temperatura mínima media del suelo a los 25 y	

50 cm de profundidad; T° max media (25-50 cm), temperatura máxima media del suelo a los 26 y 50 cm de profundidad).....	89
Figura 35. Acumulación de raíces intermedias y conductoras y contenido de humedad en el suelo, de septiembre de 2015 a agosto de 2016 (IC 0-25, raíces intermedias y conductoras a los 0-25 cm de profundidad; IC 26-50, raíces intermedias y conductoras a los 26-50 cm de profundidad; C.C. 0-25, capacidad de campo a los 0-25 cm de profundidad; C.C. 26-50, capacidad de campo a los 26-50 cm de profundidad; C.H.M.P. contenido de humedad mínimo permisible).....	90
Figura 36. Acumulación de raíces intermedias y conductoras y temperatura del suelo, de septiembre de 2015 a agosto de 2016 (IC 0-25, raíces intermedias y conductoras a los 0-25 cm de profundidad; CN 26-50, raíces intermedias y conductoras a los 26-50 cm de profundidad; T° min media (25-50 cm), temperatura mínima media del suelo a los 25 y 50 cm de profundidad; T° max media (25-50 cm), temperatura máxima media del suelo a los 26 y 50 cm de profundidad).....	91
Figura 37. Hinchamiento de yemas vegetativas (izquierda) y reproductivas (derecha).	95
Figura 38. Brotación de yemas reproductivas y vegetativas.	97
Figura 39. Evolución del área foliar del 11 de junio al 13 de agosto de 2015.....	98
Figura 40. Evolución del área foliar durante el periodo de crecimiento y desarrollo vegetativo y reproductivo del ciclo productivo 2016.	99
Figura 41. Inicio, plena y fin de floración del ciclo productivo 2015.....	103
Figura 42. Inicio, plena y fin de floración del ciclo productivo 2016.....	103
Figura 43. Crecimiento y desarrollo de frutos en 2015, medido a través del diámetro polar y ecuatorial.....	106
Figura 44. Crecimiento y desarrollo de frutos en 2016, medido a través del diámetro polar y ecuatorial.....	107
Figura 45. Precipitación sólida y daño a frutos por golpes de granizo.....	108
Figura 46. Crecimiento y desarrollo de frutos en 2015.....	108
Figura 47. Crecimiento y desarrollo de frutos en 2016.....	109
Figura 48. Primera caída de frutos en los ciclos productivos 2015 (izquierda) y 2016 (derecha).....	110

Figura 49. Segunda caída de frutos en los ciclos productivos 2015 (izquierda) y 2016 (derecha).....	111
Figura 50. Tercera caída de frutos en los ciclos productivos 2015 (izquierda) y 2016 (derecha).....	112
Figura 51. Porcentaje relativo de frutos persistentes y porcentaje de amarre de frutos, durante el crecimiento y desarrollo de frutos en el ciclo productivo 2016.	112
Figura 52. Frutos en madurez fisiológica en 2015.....	115
Figura 53. Frutos en madurez de cosecha en 2016.	116
Figura 54. Infección de roya en los ciclos productivos 2015 (izquierda) y 2016 (derecha).	117
Figura 55. Abscisión de hojas basales en el ciclo productivo 2015.....	118
Figura 56. Abscisión de hojas basales en el ciclo productivo 2016.....	119
Figura 57. Evolución de la acumulación de U.F durante letargo de acuerdo al modelo de Richardson <i>et. al.</i> (1974) y de Vega <i>et. al.</i> (1990).....	123
Figura 58. Secuencia temporal de fases fenológicas en el ciclo productivo 2015.....	127
Figura 59. Secuencia temporal de fases fenológicas en el ciclo productivo 2016.....	129
Figura 60. Peso Específico de Hoja durante el ciclo productivo 2015.....	135
Figura 61. Peso Específico de Hoja durante el ciclo productivo 2016.....	136
Figura 62. Concentración de nitrógeno en hojas durante el ciclo productivo 2015. ...	140
Figura 63. Concentración de nitrógeno en hojas durante el ciclo productivo 2016. ...	142
Figura 64. Eficiencia en el Uso de la radiación en ciruelo japonés cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirobolano durante abscisión foliar del ciclo productivo 2015 (¹Eficiencia en el Uso de la Radiación; ²Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada).	146
Figura 65. Eficiencia en el Uso de la radiación en ciruelo japonés cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirobolano durante el periodo de crecimiento vegetativo y reproductivo 2016 (¹Eficiencia en el Uso de la Radiación; ²Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada).....	147
Figura 66. Eficiencia en el Uso de la radiación en ciruelo japonés cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirobolano durante crecimiento y desarrollo de frutos en 2016 (¹Eficiencia en el Uso de la Radiación; ²Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada).	148

Figura 67. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y concentración de nitrógeno en hojas en 2015 (**Spearman= -1). **Altamente significativa.....	154
Figura 68. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y concentración de nitrógeno en hojas en 2016 (N.S. Spearman=-0.55). N.S. No significativo.....	155
Figura 69. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y peso específico de hoja en 2016 (**Spearman= 0.94). Altamente significativa.	156
Figura 70. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi) en 2015 (**Spearman=-1). Altamente significativa.....	157
Figura 71. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi) en 2016 (N.S..Spearman= 0.42). N.S. No significativo.....	158
Figura 72. Correlación entre área foliar y concentración de nitrógeno en hojas en 2015 (**Spearman= 0.89). **Altamente significativa.	159
Figura 73. Correlación entre área foliar y concentración de nitrógeno en hojas en 2016 (N.S.Spearman= -0.23). N.S. No significativo.	160
Figura 74. Correlación entre área foliar y Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada en 2016 (*Spearman= 0.76). *Significativa.....	161
Figura 75. Correlación entre crecimiento y desarrollo de frutos y concentración de nitrógeno en hojas en el ciclo productivo 2016 (*Spearman= -0.78). *Significativa.....	162
Figura 76. Correlación entre crecimiento y desarrollo de frutos y peso específico de hoja en el ciclo productivo 2016 (**Spearman= 0.93). **Altamente significativa.	162
Figura 77. Correlación entre crecimiento y desarrollo de frutos y área foliar en el ciclo productivo 2016 (*Spearman= 0.66). *Significativa.	163
Figura 78. Correlación temporal entre crecimiento y desarrollo de frutos y crecimiento vegetativo (flujos) en el ciclo productivo 2016 (**Spearman= 1). **Altamente significativa.	164

LISTA DE CUADROS DE APÉNDICE

Figura A- 1. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y peso específico de hoja en 2015 ($N.S.$ Spearman= -0.44). $N.S.$ No significativa.	186
Figura A- 2. Correlación entre acumulación del crecimiento radical general y contenido de nitrógeno ($N.S.$ Spearman= 0.3). $N.S.$ No significativa.	186
Figura A- 3. Correlación entre acumulación del crecimiento radical general y PEH ($N.S.$ Spearman= -0.5). $N.S.$ No significativa.	187
Figura A- 4. Correlación entre acumulación del crecimiento radical general y contenido de humedad en el suelo ($N.S.$ Spearman= -0.03). $N.S.$ No significativa.	187
Figura A- 5. Correlación entre acumulación del crecimiento radical general y temperatura media del suelo ($N.S.$ Spearman= -0.43). $N.S.$ No significativa.	188
Figura A- 6. Correlación entre acumulación del crecimiento radical general y crecimiento vegetativo (flujos) ($N.S.$ Spearman= -0.15). $N.S.$ No significativa.	188
Figura A- 7. Correlación entre área foliar y crecimiento vegetativo (flujos) en 2015 ($N.S.$ Spearman= -0.9). $N.S.$ No significativa.	189
Figura A- 8. Correlación entre área foliar y crecimiento vegetativo (flujos) en 2016 ($N.S.$ Spearman= 0.05). $N.S.$ No significativa.	189
Figura A- 9. Correlación entre área foliar y peso específico de hoja en 2015 ($N.S.$ Spearman=0.38). $N.S.$ No significativa.	190
Figura A- 10. Correlación entre área foliar y peso específico de hoja en 2016 ($N.S.$ Spearman= 0.16). $N.S.$ No significativa.	190
Figura A- 11. Correlación entre área foliar y Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi) en 2015 ($N.S.$ Spearman= 0.43). $N.S.$ No significativa.	191
Figura A- 12. Correlación entre crecimiento y desarrollo de frutos y contenido de humedad en el suelo durante el ciclo productivo 2016 ($N.S.$ Spearman= -0.27). $N.S.$ No significativa.	191
Figura A- 13. Correlación entre concentración de nitrógeno en hojas y Peso Específico de Hoja en 2015 ($N.S.$ Spearman= 0.44). $N.S.$ No significativo.	192
Figura A- 14. Correlación entre concentración de nitrógeno en hojas y Peso Específico de Hoja en 2016 ($N.S.$ Spearman= -0.34). $N.S.$ No significativa.	192

I. INTRODUCCIÓN

El ciruelo japonés (*Prunus salicina*) es un árbol frutal originario de China. Dada la diversidad climática de su centro de origen, existen cultivares más apropiados que otros a ciertas condiciones climáticas (Idrovo, 2008); esta especie se caracteriza por presentar hábitos de crecimiento y fructificación contrastantes entre las variedades más difundidas (Urrejola, 1998). En este contexto, los hábitos de crecimiento en condiciones climáticas específicas pueden ser estudiados fenológicamente.

Fenología es el estudio de las fases del desarrollo de las plantas en relación con su ambiente (Font, 1982), y la respuesta de crecimiento y desarrollo está determinada por las condiciones climáticas y edáficas, mismas que presentan una relación directa con las prácticas agronómicas (Castaños, 1980) y culturales. Los árboles frutales muestran diversas fases fenológicas en el transcurso del año (Wolstenholme y Whiley, 1989), y el estudio de la fenología es importante para la correcta planeación y ejecución de las prácticas que conforman el manejo de huertos (Whiley, *et. al.*, 1988).

Aunque se han desarrollado investigaciones parciales de fenología y estudios científicos de temáticas diversas dentro de alguna fase fenológica de esta especie, no ha sido aún investigada la fenología general del ciruelo japonés cv. Methley en zonas frutícolas de México con clima templado de altura. Inclusive, se desconoce el comportamiento fenológico completo de al menos un cultivar de ciruelo japonés.

Por otra parte, en México existen pocos estudios que identifican la visión del productor agropecuario respecto a los problemas que afectan en sus unidades de producción (Cuevas *et. al.*, 2012), y menor es la realización de estudios científicos que afectan directa y favorablemente su sistema de producción. En contraste, el productor requiere elementos científicos y tecnológicos que se apliquen en sus unidades de producción para hacerlas más productivas (Cuevas *et. al.*, 2012), o aquellos que aunque no son demandados brinden herramientas que orienten correctamente sus actividades culturales y labores agronómicas.

La investigación científica de la fenología del ciruelo japonés es fundamental para conocer los cambios en los patrones de crecimiento y desarrollo del árbol, y efectuar entonces un adecuado manejo agronómico (Gamboa, 2005), atender fases fenológicas y mejorar la eficiencia de insumos (Hinojosa, 1979). Además, si las fases fenológicas son registradas y relacionadas con periodos de ocurrencia, duración e información meteorológica, se pueden predecir los cambios en el desarrollo del árbol, información muy valiosa que ayudaría a técnicos y productores a modificar la expresión y duración de los procesos fenológicos que ocurren en los árboles (Salazar-García, *et. al.*, 2005).

I.I Objetivos

a) General

Estudiar y analizar la fenología y desarrollo de *Prunus salicina* cv. Methley injertado sobre *Prunus cerasifera* en Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, mediante variables de estudio de naturaleza científica para conocer la fenología general y sus respectivas fases fenológicas.

b) Específicos

1. Determinar la ocurrencia y duración de las fases fenológicas del ciruelo japonés cv. Methley en Montecillo, Texcoco, México, en función de las Unidades Frío (UF) acumulables en la zona de estudio así como de los Grados Día de Desarrollo (GDD).
2. Evaluar, medir y analizar el efecto que el contenido de humedad y la temperatura del suelo provocan en la densidad radical de *Prunus cerasifera* injertado con *Prunus salicina* cv. Methley.
3. Evaluar y analizar la correlación entre las condiciones climáticas locales y las condiciones fisiológicas de los árboles, con las fases fenológicas de los mismos.
4. Ajustar modelos de regresión al crecimiento de órganos de *Prunus salicina* cv. Methley en relación a los GDD, condiciones agrometeorológicas y condiciones fisiológicas.

I.II Hipótesis

a) General

El estudio y análisis de la fenología de *Prunus salicina* cv. Methley injertado sobre *Prunus cerasifera* evaluado mediante variables de estudio de naturaleza científica, permitirá conocer la fenología general y las fases fenológicas del cultivo.

b) Específicas

1. Es posible utilizar modelos de acumulación de Unidades Frío y Grados Días de Desarrollo para conocer la ocurrencia y duración de las fases fenológicas de *Prunus salicina* cv. Methley injertado sobre *Prunus cerasifera*, en Montecillo, Texcoco, México.
2. El contenido de humedad y la temperatura del suelo determinan la densidad radical de *Prunus cerasifera* injertado con *Prunus salicina* cv. Methley.
3. Las condiciones climáticas locales así como las condiciones fisiológicas de los árboles, tienen un alto grado de correlación con sus fases fenológicas.
4. Es posible ajustar modelos de regresión al crecimiento de órganos de *Prunus salicina* cv. Methley en relación a los GDD, condiciones agrometeorológicas y condiciones fisiológicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Ciruelo Japonés (*Prunus salicina* Lindl).

Es un árbol frutal originario de China y, dada la diversidad climática de su centro de origen, existen cultivares más apropiados que otros a ciertas condiciones climáticas (Idrovo, 2008). Se adapta a zonas relativamente cálidas, con inviernos benignos y con bajo riesgo de heladas primaverales (Agustí, 2004); prospera mejor donde los inviernos son fríos, los veranos cálidos y la precipitación es cercana a 1000 mm anuales; hay muchas variedades bien adaptadas a diferentes climas y condiciones de suelo y, requiere menos frío que ciruelo europeo (Childers, 1978).

Los árboles son vigorosos y tienen variación en el tipo de crecimiento. Algunas variedades distribuyen su arquitectura mientras que otras crecen rectas y robustas; pero, generalmente, en sus primeros dos años de vida comienzan a presentar ramificaciones y tienden a conservar tal tendencia mediante producción de ramas laterales (Childers, 1978). Tiene hábitos de fructificación contrastantes entre las variedades más difundidas (Urrejola, 1998). Los frutos son poco variables en su forma de corazón, largos y ovalados (raramente son ovalo-punteados), con epicarpio brillante color rojo o rojo-purpúreo y pulpa amarilla, ámbar o roja, jugosa y de buena consistencia (Agustí, 2004).

Es un árbol taninífero que produce proantocianinas y, según el genotipo, también produce ácidos gálicos y elágicos; acumula saponinas y sorbitol, y suele tener cristales de oxalato de calcio solitarios o agrupados, presentes en algunas células de los tejidos parenquimatosos (Cronquist, 1981).

2.2 Requerimiento climáticos del ciruelo japonés (*Prunus salicina*)

2.2.1 Suelo

Prunus salicina es una de las especies frutales que mejor se adapta a distintos tipos de suelo, pero, es sensible a la salinidad. En general, es menos exigente en N que el resto de las especies frutales y requiere mayores cantidades de K (Agustí, 2004).

2.2.2. Contenido de humedad en el suelo

El contenido de humedad en el suelo es una de las principales limitantes del crecimiento de las plantas, su exceso o carencia provocan detrimento del rendimiento de los cultivos. La estimación y variación del contenido de humedad en el campo en forma rápida, son aspectos prioritarios para el manejo eficiente de este recurso en los agroecosistemas (Largaespada y Henríquez, 2015), haciendo que las metodologías de determinación de agua en el suelo sean muy precisas y de mucha importancia. En particular, las mediciones de humedad que se realizan *in situ*, permiten tomar decisiones en forma expedita, no obstante, sean exactas, precisas y baratas (Muñoz y Ritter 2005; Radulovich, 2009).

La capacidad de retención de la humedad del suelo, está influenciada directamente por las propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos del suelo; por lo tanto, el impacto de esta característica del suelo en las plantas, es directo. En este sentido, es necesario relacionar el contenido de humedad con otras variables del suelo, tales como textura y densidad aparente, las cuales presentan una variabilidad espacial importante en el campo agrícola (Porta *et. al.*, 2003). El efecto de la textura sobre el contenido de agua en el suelo, puede verse manifestado, tanto en su almacenamiento como en su movimiento, y varía según las proporciones de arcilla o arenas (Porta *et. ál.*, 2003).

Desde una perspectiva fisiológica, para mantener la turgencia de la parte aérea de las plantas, y posibilitar las actividades bioquímicas hasta un nivel que asegure la supervivencia, el agua perdida en la planta por transpiración, ha de reponerse continuamente con la absorción hídrica que se produce a través de las raíces; para que la absorción del agua por las plantas se lleve a cabo de forma eficaz, hay dos aspectos esenciales: 1) que exista un contacto íntimo entre el suelo y las raíces; 2) las raíces han de crecer constantemente (Azcón y Talón 2000). En ciruelo japonés, cabe destacar la necesidad de mantener humedad en el volumen de suelo que rodea a la raíz, actividad en la que el uso de riego puede ser determinante (Childers, 1978).

El contenido de agua en el suelo funciona como medio de transporte de nutrientes a través de un mecanismo de flujo de masas (Gavande, 1973). Cuando existe una mayor cantidad de agua en el suelo, el crecimiento foliar de árboles de ciruelo, así como el amarre de frutos, se ven favorecidos. Esto repercute positivamente en el rendimiento y calidad de frutos; por el contrario, una baja humedad del suelo y la ausencia de cobertera, produce un mayor número de frutos pequeños (del Ángel, 2001). Además, el rendimiento de los cultivos, es afectado por la cantidad de lluvia en una estación específica y, por la frecuencia, duración y severidad del estrés hídrico sobre las plantas en distintas etapas de su crecimiento (Shaxson y Barber, 2005).

2.2.3 Temperatura del suelo

La radiación solar influye sobre la temperatura del suelo; su variación es afectada por las fechas que corresponden a las épocas cuando los rayos del sol del mediodía caen perpendicularmente sobre la superficie del orbe, y proporcionan la intensidad máxima. Los picos de máxima radiación, pueden verse suprimidos o desplazados por la ocurrencia de lluvias y nubosidad (Forsythe, 2002).

La temperatura del suelo afecta el crecimiento de las plantas, y, en zonas tropicales, las fluctuaciones estacionales y diarias de temperatura del suelo son menores que en zonas templadas; en general, las fluctuaciones diarias alcanzan una penetración de 20 hasta 30 cm de profundidad (Allen *et. al.*, 2000), y los máximos de temperatura ambiental coinciden con los máximos de temperatura del suelo a esta profundidad (Forsythe, 2002).

A más de 50 cm de profundidad la fluctuación diaria es nula (Soil Survey Staff, 1999), y, la temperatura a 10 cm de profundidad en el suelo muestra un valor mínimo sugerido por una salida de calor, donde lluvias nocturnas fuertes y nubosidad al día siguiente enfrían el suelo (Forsythe, 2002).

Los cambios de temperatura del suelo pueden tener un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo del sistema radical de las plantas, así como en la productividad. En muchos casos, las temperaturas del suelo son menores que las temperaturas del aire, y las fluctuaciones temporales de las primeras son evidentes; se sabe que la labranza y el riego afectan la temperatura del suelo y, subsecuentemente el crecimiento y desarrollo radical (Waisel, *et. al.*, 1996). El control de la temperatura del suelo puede darse por medio del manejo de la sombra, tipo de cobertera, profundidad de siembra (plantación caso frutales), riego y drenaje; el enfriamiento del subsuelo se logra mediante advección de agua fría, como consecuencia de penetración del agua de las lluvias (Forsythe, 2002).

Según Rendig y Taylor (1989), los cambios de temperatura en distintos espacios del suelo, impactan la acumulación de biomasa radical, y existen zonas favorables particulares para el desarrollo y elongación de las raíces. En ciruelo, las raíces reanudan su crecimiento cuando la temperatura del suelo es mayor o igual a 4-5°C (Tanaka, 1937, citado por Kolesnikov, 1971).

2.2.4 Temperatura ambiental

La temperatura del aire es un factor dominante en el control del desarrollo de los cultivos (Yang, *et. al.*, 1995), así como una de las principales fuerzas impulsoras del crecimiento, por medio de la cual los estados fenológicos se manifiestan a través del tiempo, estando siempre ligados a la marcha de la temperatura en el transcurso del tiempo (Salazar-Gutiérrez, *et. al.*, 2013).

En ciruelo, existen ciertos cultivares más adaptados que otros a determinadas temperaturas y altitudes (2600 - 3200 msnm), pero, de manera general, las variedades japonesas son más apropiadas a ser cultivadas en alturas bajas y con climas templados que en zonas relativamente altas y frías (Juscafresa, 1997).

En ciruelo japonés, la tasa de asimilación neta de CO₂, es fuertemente influida por la temperatura y la intensidad lumínica; la temperatura foliar a la que ocurre la mayor asimilación de CO₂ depende de la intensidad lumínica. Por ejemplo, a una baja intensidad lumínica, la máxima tasa fotosintética ocurre a una relativamente baja temperatura foliar, mientras que, a una moderada y alta intensidad lumínica, la máxima tasa fotosintética puede ser encontrada a 25°C (Seeley y Kammereck, 1977).

2.2.5 Radiación solar

En fenología, los efectos de la radiación solar sobre las plantas pueden ser clasificados en fotoenergéticos (involucran la fotosíntesis) y fotoestimulantes (relacionados con el crecimiento y los movimientos násticos) (Salisbury y Ross, 1994).

La radiación solar, al interactuar con otros elementos como temperatura y precipitación, influye en el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Rivetti, 2007), por medio de la intercepción y utilización que los cultivos hacen de esta energía (Monteith, 1977), que es necesaria para completar los procesos físicos y biológicos involucrados en la elaboración de carbohidratos mediante la fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2002). Esto, debido a que la materia seca, resulta de la intercepción y utilización de la radiación solar incidente sobre el dosel del cultivo durante su ciclo ontogénico (Lee y Tollenar, 2007).

Concretamente, la capacidad de captura de radiación solar y, específicamente, de Radiación Fotosintéticamente Activa, impacta el rendimiento (Otegui, *et. al.*, 1995).

2.2.6 Precipitación

Se sabe que gran parte de los alimentos en el futuro próximo, procederán, sobre todo, de los cultivos de secano, debido a que las posibilidades de incrementar el área de riego son limitadas (Shaxso y Barber, 2005). A través del agua de lluvia, elementos minerales existentes en la atmósfera entran en ecosistemas terrestres en forma de iones disueltos, núcleos de condensación de agua de lluvia y/o en forma elemental; el ingreso de estos

minerales al suelo, varía en función de la localización geográfica, estación del año y cantidad de partículas existentes en el aire (Andrade, *et. al.*, 1995).

La lluvia que se infiltra en el suelo, integra agua que puede ser usada por las plantas para la transpiración. La cantidad de agua de lluvia que infiltra más allá del límite inferior de la zona radical, dependerá tanto de la cantidad de agua usada para la transpiración por los cultivos, como de la evaporación (Shaxson y Barber, 2005). Según Childers (1978), la cantidad de precipitación requerida para el cultivo del ciruelo es cercana a 1000 mm anuales; sin embargo, Morales (2002) indica que el ciruelo japonés, por ser uno de los frutales más rústicos, es susceptible de ser cultivado en zonas con precipitaciones de 800 mm anuales.

El rendimiento de los cultivos depende de la cantidad total de agua de lluvia, así como de la frecuencia, duración y severidad del estrés hídrico que se presenta en distintas etapas del crecimiento de los cultivos (Shaxson y Barber, 2005). El estrés hídrico induce cambios en el sistema radical, lo que afectará tanto el abastecimiento de nutrimentos y agua (Cohen, 1994), como la división celular (proceso indispensable en el crecimiento de las plantas). El daño ocasionado se relaciona directamente con la intensidad y duración de etapas fenológicas del cultivo, dado que su efecto se manifiesta en la reducción de la transpiración y fotosíntesis (Chalmers *et al.*, 1985). Por lo tanto, no sólo el rendimiento, sino la calidad del producto, se verán afectados por la cantidad de agua disponible para la planta (Shock *et al.*, 1998).

En este contexto, el crecimiento y la productividad de los cultivos está en función del uso del agua, y, aunque un déficit de humedad en el suelo reduce normalmente la producción final, un estrés hídrico moderado puede llegar a mejorar la eficiencia del uso de agua, y mejorar la calidad de los frutos, por lo que el manejo de la disponibilidad de agua en los cultivos constituye una herramienta útil en la fruticultura (Cohen, 1994).

2.3 Fenología y régimen térmico

La fenología estudia los fenómenos periódicos de los seres vivos y sus relaciones con las condiciones ambientales. Una fase fenológica es la aparición, transformación o desaparición de uno o más órganos de la planta y, dos fases sucesivas, delimitan un sub-periodo o etapa (de Fina y Ravello, 1973).

Como resultado de la interacción de la temperatura, humedad, duración del día, etc., la fecha en que aparece una fase fenológica de una misma especie varía bajo diversos climas. La duración ontogénica varía según las regiones y años, debido a que las principales causas de las fases periódicas de los frutales son la marcha de la temperatura a través del año, la variación periódica durante el día y el régimen pluviométrico. Este último, en los fenómenos periódicos, tiene marcado efecto fuera de las regiones vecinas al ecuador, debido a que, en regiones cercanas al mismo, las lluvias son uniformes durante el año; con base en estos principios, se explican las variaciones de la duración ontogénica (de Fina y Ravello, 1973).

Muy ligada a la fenología, se encuentra la constante térmica o tiempo fisiológico. Esta constante es calculada y contabilizada en unidades conocidas como Grados Día de Desarrollo (GDD), Grados Día de Crecimiento (GDC) o Unidades Calor (UC). Los GDD representan la acumulación de temperaturas medias diarias por encima de una temperatura base (T_b) (Ruiz *et. al.*, 2002; López *et. al.*, 2010), Una cantidad específica de GDD es necesaria para finalizar una determinada fase fenológica (Trudgill *et. al.*, 2005).

Cada planta tiene un requisito específico de temperatura antes de que ciertos estados fenológicos se alcancen (Sikder, 2009). Además de la T_b , existen temperaturas mínima, óptima y máxima para la producción de fases, las cuales son distintas en las especies de las plantas (de Fina y Ravello, 1973).

El objetivo de cuantificar el tiempo fisiológico, es mejorar el uso del tiempo calendario en la predicción del desarrollo y describir el efecto de la temperatura sobre la fenología (Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). Según Snyder (1985), la información relativa al requerimiento térmico puede ser usada por agricultores para monitorear el desarrollo de procesos biológicos usando operaciones aritméticas simples, remplazando así el uso del tiempo calendario, que, según Slafer y Savin (1991) y Mendoza *et al.*, (2004), ha sido utilizado empíricamente para predecir etapas de crecimiento y desarrollo.

En general, Hopkins concluyó que las fechas de las fases se adelantan o retrasan de acuerdo con una ley propuesta por él, en la que menciona que se produce un retraso de cuatro días por cada grado de aumento en la latitud, por cada 120 m de elevación, y por cada 5° de longitud hacia el Este (de Fina y Ravello, 1973).

En especies frutales leñosas, ciertas etapas del crecimiento y desarrollo, como polinización y fertilización, crecimiento vegetativo (flujos vegetativos), caída de frutos y senescencia y abscisión foliar, no son exclusivamente dependientes de requerimientos térmicos para su inicio, duración y marcha; de hecho, el inicio y fin de las mismas, son determinados en mayor medida por condiciones fisiológicas internas. Por ejemplo, el crecimiento vegetativo y la caída de frutos, pueden variar según el contenido de nitrógeno almacenado en órganos perennes durante el invierno pasado (Millard y Proe 1991, Neilsen *et al.* 1997) y los niveles de auxinas (Almaguer 1998), respectivamente. Además, estas etapas no llevan a cabo la aparición, transformación o desaparición consecuente de uno o más órganos vegetales por acción de una acumulación térmica, como sí lo realizan las yemas florales con la formación de flores.

En este sentido, el régimen térmico se refiere a la cantidad de calor disponible para el crecimiento y desarrollo de la planta, y, normalmente, se define por medio de la temperatura media diaria durante el periodo de crecimiento. Este periodo es el tiempo durante el cual las temperaturas permiten un crecimiento del cultivo, y, la precipitación,

más la humedad almacenada en el perfil del suelo, superan la mitad de la evapotranspiración potencia y permiten la germinación de las semillas. Esta condición se puede interrumpir por (i) un periodo seco, es decir, el agua suministrada por la lluvia y la humedad almacenada en el suelo quedan por debajo de 0.5 evapotranspiración (ETP), y (ii) por una letargo invernal (inactividad o interrupción por el frío) (FAO, 1997).

2.4 Estudios fenológicos en *Prunus salicina* Lindl.

La fruticultura mexicana ha seguido dos caminos para el establecimiento de plantaciones frutales comerciales: 1) la observación y selección de individuos sobresalientes en determinadas regiones, y 2) la adopción de cultivares obtenidos en otros países (Almaguer, 1986). Esto hace necesario el estudio del comportamiento fenológico de frutales bajo condiciones específicas.

Burgos (1984), comenta que las principales fases fenológicas en los frutales de hueso son: Brotación, floración, foliación, crecimiento y maduración de frutos y caída de hojas. De acuerdo con Meier (1997), la codificación fenológica del desarrollo de los frutales de hueso se divide en los siguientes periodos fenológicos: Desarrollo de yemas, desarrollo de hojas, crecimiento longitudinal de los brotes terminales, aparición del órgano floral, floración, formación del fruto, maduración del fruto, senescencia y comienzo del letargo vegetativo, las cuales, son conformados por cuarenta y cinco sub-periodos.

2.4.1 Crecimiento vegetativo

El meristemo apical caulinar se sitúa en la zona distal del brote y está formado por varias capas de células (túnica) que revisten a una masa de células en división, cubierta por los primordios foliares. Los meristemos apicales y no apicales de un brote pueden presentar actividad estacional y crecer rápidamente en la primavera; entrar en crecimiento lento en verano y en otoño entrar en letargo (Taiz y Zeiger, 2006). Las yemas axilares son meristemos secundarios que están recubiertas por prófilos (escamas), se localizan en las axilas de las hojas y tienen un meristemo rodeado por primordios foliares (Agustí, 2003).

En los árboles frutales, el crecimiento de primavera del meristemo apical caulinar depende de la movilización del nitrógeno almacenado en los órganos perennes (Muñoz *et al.* 1993; Millard 1995), ya que la contribución que el ciclo interno del nitrógeno hace al resto del metabolismo de esta época de crecimiento, depende mayormente del nitrógeno almacenado en los órganos perenes durante el invierno pasado (Millard y Proe 1991; Neilsen *et. al.*, 1997), y no es afectado por el suministro de nitrógeno corriente generado en la primavera (Millard, 1997).

El tiempo exacto del crecimiento depende de la variedad, región y temperatura de exposición. Cuando las temperaturas son favorables durante la primavera, el almidón almacenado se desdobla en azúcares disponibles que proporcionan energía a las yemas para el desarrollo de flores y hojas (Ohlendorf, 1991). Los primordios foliares y la diferenciación de yemas axilares, se produce a medida que el meristemo apical progresa (Agustí, 2004). La tasa de crecimiento de los flujos vegetativos de ciertos frutales está determinado por el clima, manejo del cultivo, volumen de las cosechas, etcétera, siendo estos flujos importantes para la floración y cosecha, por la producción de follaje (Salazar, 2010). León (1994) observó que durante el crecimiento de los brotes (flujos vegetativos), se presentaron tres alzas significativas, siendo una de ellas más elevada en magnitud.

Cuando el crecimiento en longitud de un brote cesa, inicia la determinación de yemas florales en la mayoría de las especies frutales leñosas (Davis, 1957; Westwood, 1978). Garza (1982), citado por Almaguer (1998), menciona que con el crecimiento vegetativo puede ocurrir la inhibición floral, e, inhibirse más, si este crecimiento es estimulado con prácticas culturales como la fertilización excesiva de nitrógeno y riegos, podas y aplicación de ácido giberélico. En contraparte, la aplicación de compuestos químicos retardantes del crecimiento y el estrés hídrico estimulan la diferenciación floral en detrimento del crecimiento vegetativo (Jackson y Sweet, 1972). Asimismo, la acumulación de carbohidratos acompañado con la disminución de nitrógeno interno, sugiere la detención del crecimiento vegetativo (Chandler, 1957).

La máxima producción de frutos de alta calidad requiere un suplemento de agua que mitigue las necesidades de evapotranspiración, particularmente, durante el periodo del crecimiento de frutos; en muchos casos, el agua puede ser retenida por la influencia del crecimiento del fruto, mientras se reduce el crecimiento vegetativo, por lo que es importante conocer el hábito de crecimiento de cada cultivo frutícola (Chalmers *et. al.*, 1984).

2.4.2. Crecimiento radical

El sistema radical requiere de un manejo específico sustentable, que, además de preservar la calidad del ambiente, asegure las mejores condiciones para el desarrollo vegetal (Becerril *et. al.*, 2009). Se sabe que un sistema radical se compone por raíces de crecimiento, nutrición, intermedias y conductoras (Kolesnikov, 1971), y que sus funciones son la absorción hídrica y nutrimental, conducción, almacenamiento de reservas, síntesis de sustancias, propagación asexual, fijación o anclaje y crecimiento, este último condicionado principalmente por la temperatura, humedad aprovechable y concentración de oxígeno en el suelo (Becerril *et. al.*, 2009).

Para crecer, las raíces de especies frutales de clima templado requieren una temperatura mínima de 7°, óptima de 23-25° y máxima de 32°C, humedad aprovechable situada entre capacidad de campo (-0.03 MPa) y punto de marchitamiento temporal (-0.7 MPa, Ley 1994), y concentración de oxígeno mayor de 8%, ya que el crecimiento radical se detiene a concentraciones $\leq 5\%$ (Becerril, *et. al.*, 2009).

Por otra parte, la mayor densidad radical en especies frutales normalmente se observa entre los 10 y 90 cm de profundidad y entre los 30 cm y 3 m de distancia al tallo principal (dependiendo del tamaño de la especie), y está determinada por la especie y combinación cultivar-portainjerto (Gutiérrez *et. al.*, 2006), variando esta última, en función del vigor del portainjerto debido a que cambian las relaciones de partición de biomasa a hojas, tallos y raíces (Ovando *et. al.*, 1993). La densidad puede ser modificada por las características físico-químicas del sustrato, prácticas de manejo de huertos, fertilidad,

pH, textura, compactación, manejo del suelo (Gutiérrez *et al.*, 2006), prácticas culturales y reacciones alelopáticas (Yadava y Doud, 1980).

En lo concerniente a flujos de crecimiento radical de especies frutales caducifolias, se sabe que, en cada ciclo de desarrollo, hay dos flujos de crecimiento radical bien definidos; uno previo a la brotación (al final del endoletargo de la parte aérea), y, otro previo a la caída de hojas. Este último, coincide con la disminución de actividad de la parte aérea durante el otoño, aunque, independientemente del tipo de frutal, una de las máximas tasas de crecimiento radical sucede durante la floración (Ryugo, 1988; Shaw, 1998).

En especies leñosas, la mayor parte del sistema radical consta de raíces viejas y muy suberificadas. Gran parte del agua absorbida por raíces suberificadas penetra a través de numerosas fisuras que se originan en la peridermis y la filodermis que rodea al sistema vascular secundario (Azcón-Bieto y Talón 2000).

El sistema radical del ciruelo tiende a la superficialidad (Agustí, 2004), y su desarrollo necesita de al menos 40-50 cm de profundidad (Silva y Alonso, 1976). El crecimiento del sistema radical de esta especie se reanuda cuando la temperatura del suelo es de 4-5°C (Tanaka, 1937, citado por Kolesnikov, 1971). Hay muchas variedades bien adaptadas a diferentes condiciones de suelo (Childers, 1978), pero en terrenos arcillosos y con pH elevado la asfixia radical y la clorosis férrica son factores limitantes de su crecimiento (Agustí, 2004).

2.4.3. Hinchamiento yemas

Las yemas reproductivas del ciruelo requieren menor cantidad de Unidades Frío (UF), y su brotación sucede antes que la de las yemas vegetativas (Tabuenca, 1965). Aunque el letargo invernal concluye generalmente en invierno, ambos tipos de yema permanecen en letargo hasta que las temperaturas ambientales son favorables para el crecimiento o hinchamiento, que sucede una vez satisfechas las necesidades de frío. Este evento se

origina por medio del aumento continuo del tamaño de yemas por acción del calor para posteriormente producir la brotación (Fernández, 1988).

El hinchamiento es originado por divisiones celulares que requieren el aporte de carbohidratos para satisfacer los requerimientos energéticos (Martínez *et. al.*, 2015). Este crecimiento es debido a una expansión celular provocada por el potencial de turgencia, suministro de sales minerales, agua y materia elaborada (Taiz y Zeiger, 2002). También se debe a la estimulación de la salida del estado de letargo de yemas laterales, por acción de citocininas sintetizadas en raíces o localmente que accionan en contrarresto a las auxinas, que son hormonas inhibidoras del crecimiento de yemas laterales (Schmülling, 2002).

En plantas perennes leñosas, la determinación del meristemo vegetativo a floral es precedida por una detención del crecimiento vegetativo de la planta (Ben-Tal, 1986). Uno de los cambios más evidentes durante la iniciación floral concierne con el tamaño y forma del meristemo. Los meristemos vegetativos, generalmente con forma de pequeños domos, durante la iniciación floral adquieren una forma aplanada y presentan un ensanchamiento (Sedgley, 1987). En diversas especies se ha encontrado un cambio en el número de capas de túnica, al pasar la planta a una condición reproductiva (Buban y Faust, 1982).

2.4.4. Brotación y crecimiento foliar

Solamente unas pocas señales ambientales, a menudo muy precisas, son capaces de “activar” una yema en letargo, y aunque la yema aletargada no crezca puede estar en actividad meristemática durante varios momentos del letargo, ya que los catáfilos de las yemas almacenan inhibidores del crecimiento, y la brotación depende del balance entre auxinas, citocininas y giberelinas para promover la diferenciación o la división celular (Moubayidin *et. al.*, 2010). Estas tres hormonas también regulan la inhibición de la brotación mediante el proceso de dominancia apical (Bangerth *et. al.*, 2000).

Los niveles de citocininas son muy pequeños en la savia del xilema de los árboles en letargo, pero aumentan considerablemente conforme se acerca el momento de la brotación de yemas (Borkowska, 1980); es muy probable que estas hormonas sintetizadas en raíces, intervengan en llevar información sobre el estatus nutritivo de la raíz, en especial la nutrición del nitrógeno (Sakakibara *et. al.*, 1998; Yong *et. al.*, 2000).

La brotación comienza con la activación de la división celular en el corpus, y al igual que el hinchamiento, requiere del aporte de carbohidratos para satisfacer requerimientos energéticos (Martínez *et. al.*, 2015). El crecimiento de primordios foliares y la diferenciación de yemas axilares, se produce a medida que el meristemo apical progresa (Martínez, 2015), y, con el tiempo, diferenciarán el limbo y el peciolo formando las hojas más jóvenes (Agustí, 2003).

La edad y estado de desarrollo de las hojas son importantes para determinar algunos procesos fisiológicos en las plantas (Horsley y Gottschalk, 1993; Chaumont *et. al.*, 1994). Durante las primeras semanas de su desarrollo, las hojas necesitan reservas del árbol porque no elaboran lo que demandan; posteriormente, son la fuente de abastecimiento de nutrimentos para la fruta en desarrollo. Por tanto, es necesario conservar las hojas del año para sostener el siguiente periodo de floración y el amarre de frutos (Ramírez, 1991).

La magnitud del área foliar (AF) define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RAF); esta superficie alcanzada durante ciertos estadios específicos del desarrollo es un factor fisiológico indispensable para cubrir demandas fotosintéticas que el resto de los órganos vegetales ejercen para lograr crecer y desarrollar (Warnock, *et. al.*, 2006). Sin embargo, dentro de una misma especie las diferentes variedades, razas, cultivares o genotipos, pueden exhibir variaciones significativas en su capacidad de magnitud del AF alcanzable, arreglo espacial de las hojas, evolución de los estadios fenológicos y cambios fisiológicos y

morfológicos por los que atraviesa la planta durante su ciclo ontogenético (Boote *et. al.*, 2001; White, 1985).

La relación espacial entre hojas y frutos tiene múltiples relaciones; por ejemplo, el área foliar es un factor determinante de la forma de los frutos; y la actividad fotosintética de las hojas no es constante (Fishler, *et. al.*, 1983).

2.4.5. Floración

Un factor importante para el inicio de la diferenciación de yemas florales en la mayoría de las especies frutales leñosas, es que las hojas próximas a la yema estén maduras (Davis, 1957; Westwood, 1978). En cierta medida la floración depende, al igual que el crecimiento vegetativo, de la movilización del nitrógeno almacenado en órganos perennes (Muñoz *et al.* 1993; Millard 1995), debido a la contribución que el ciclo interno del nitrógeno hace para el metabolismo (Millard y Proe 1991, Neilsen *et al.* 1997).

Los árboles de ciruelo, presentan abundante floración que se produce a partir de yemas de tipo espolón compactas y en ramas del año, tienen floraciones tempranas y son susceptibles a heladas, aunque muchas de las variedades son resistentes al viento helado, como son los duraznos (Childers, 1978). Los ciruelo más sensibles a elementos climáticos, en especial la temperatura, son los ciruelos japoneses (Ryall y Pentzer, 1974), los cuales necesitan condiciones soleadas debido a que los fríos y las nieblas perjudican notablemente sus floraciones (Juscafresa, 1997).

El proceso de formación de flores en ciruelo japonés cv. 'Methley', dura alrededor de cien días (Bustamante, 1987). Según Bellini y Bini (1978), después de la brotación de yemas florales se considera el inicio de la floración cuando las flores formadas abren en un máximo de 25%, plena floración cuando el 80% de las flores están abiertas y los primeros pétalos caen, y fin de floración cuando el 80% de las flores pierden sus pétalos.

Bellini y Bini (1978), argumentan que, con base en la duración de la floración, los cultivares de *P. salicina* pueden ser de periodos cortos (7-10 días), medios (10-15 días) y largos (15-20 días), aunque, cabe mencionar, que la floración puede variar año con año. Los factores y elemento que pueden intervenir modificando la época y duración de la floración son: Insolación (Tabuenca, 1965), vientos, temperatura, altitud y latitud (Bellini y Bini, 1978), tipo de suelo (Westwood, 1978) y precipitación (Tabuenca, 1965).

2.4.6 Crecimiento y desarrollo de frutos

En drupáceas, el crecimiento de frutos puede ser caracterizada por una curva sigmoideal compuesta por tres fases (Polito, 1981). Las fases son: 1) incremento en el tamaño del fruto, resultante principalmente de la división de todas las partes del ovario con excepción del endospermo y el embrión; por ejemplo, en chabacano dura de 30 a 40 días (Jackson y Coombe, 1966), y el nivel de citocininas y giberelinas es alto (Crane, 1964); 2) Detención del crecimiento debido a que el mesocarpio no se desarrolla, se lignifica en endocarpio y crecen el endospermo y el embrión; en el caso particular del chabacano, tiene una duración de 40 días (Jackson y Coombe, 1966), y, el nivel auxinas es alto, mientras que el de citocininas y giberelinas disminuye (Crane, 1964); 3) Reinicia el crecimiento del fruto por la expansión de las células del mesocarpio; en chabacano esta fase dura 20 días (Jackson y Coombe, 1966), y los promotores del crecimiento continúan descendiendo, mientras que el ácido abscísico incrementa (Crane, 1964).

En ciruelo japonés cv. Songold León (1994), observó que el crecimiento del fruto registró un modelo doble sigmoideo, con tres etapas de desarrollo bien definidas en el tiempo.

El crecimiento y desarrollo son consecuencia de la división y expansión celular, procesos dependientes de la importación de carbohidratos sintetizados en cualquier lugar de la planta; la mayor cantidad de carbohidratos transportables, entran al fruto a lo largo de haces vasculares que penetran el mesocarpio y que es el lugar a donde los carbohidratos son transportados (Moore-Gordon, 1997). Para obtener la máxima producción de frutos de alta calidad, se requiere un suplemento de agua que mitigue la evapotranspiración durante el periodo del crecimiento de frutos, dado que, en muchos casos, el agua puede

ser retenida por la influencia del crecimiento del fruto, mientras se reduce el crecimiento vegetativo. Por estas razones, es importante el conocimiento del hábito de crecimiento de cada cultivo frutícola (Chalmers *et. al.*, 1984), para suministrar cantidades requeridas de agua y controlar el tamaño de los frutos.

Las buenas condiciones hídricas en el suelo favorecen el rendimiento y calidad de los frutos, así como también la acumulación radical permanente. Estas condiciones evitan afecciones negativas en frutos (Shock *et. al.*, 1998). Sin embargo, durante el crecimiento y desarrollo de frutos, es posible la existencia de un hábito alternante de la producción de frutos en especies frutales (*e.g.* cítricos), relacionada con los nivel de carbohidratos en ramas afectadas (Li *et. al.*, 2003)

2.4.7 Caída y amarre de frutos

Según Faust (1989), el proceso que marca la transición del ovario de la flor a fruto en desarrollo, se denomina amarre o cuajado. Para que el amarre se produzca se necesita: a) la existencia de yemas florales bien formadas, maduras y nutridas; b) un régimen de temperaturas durante la antesis e inmediato posterior que asegure una buena polinización, desarrollo del tubo polínico y fecundación, o, en su defecto, que asegure el desarrollo de frutos partenocárpico; c) aporte de fotosintatos cuando el ovario inicie el desarrollo. Cuando estos tres factores se cumplen, inicia la fase uno del crecimiento del fruto. Aquellos frutos en los que algunos de estos factores no se cumpla, presentarán un mal amarre, lo que significará su caída.

El crecimiento de frutos depende, entre otros factores, de la acción hormonal. De acuerdo con la acumulación de auxinas, existen tres periodos importantes de caídas de frutos: 1°) ocurre después de la floración, caen frutos no fecundados o que muere su embrión debido a factores ambientales o cuyo contenido de auxinas era muy bajo; 2°) los frutos que caen tienen un bajo contenido de promotores del crecimiento; y 3°) también llamado caída precosecha, es debida a que los frutos, además de tener un contenido bajo de

auxinas, estuvieron sometidos a la competencia entre sí, por nutrimentos (Almaguer, 1998).

El ciruelo en general amarra una proporción muy alta de frutos (Westwood, 1978), el porcentaje promedio de amarre del cultivar Methley es de 31% (clasificado elevado o muy alto). Sin embargo, cuando no se alcanza este porcentaje (por acción de la primera y segunda caída de frutos), se ha encontrado una relación inversa con la temperatura baja o alta y con otros factores a los que se les atribuye la disminución del porcentaje de amarre (Cobianchi, *et. al.*, 1978).

2.4.8 Madurez fisiológica y de cosecha de frutos

La maduración está conformada por los procesos que ocurren desde los últimos estados de crecimiento y desarrollo, hasta los estados tempranos de senescencia de un fruto; madurez fisiológica es una etapa de desarrollo en que un fruto continuará su ontogenia, incluso si es desprendida del resto de la planta, siendo climatérico. En frutos, la maduración es también el estado de desarrollo orientado a la consecución de la madurez fisiológica o de la madurez hortícola (de cosecha) (Watada, *et. al.*, 1984).

La madurez hortícola o de cosecha, es el estado de desarrollo cuando una planta o una parte de la planta poseen los requisitos para su utilización por consumidores con un propósito particular (Watada, *et. al.*, 1984). En el caso de frutos, es el conjunto de cambios externos, de sabor y textura, que estos órganos experimentan cuando completan su crecimiento, tales como modificaciones de coloración, descenso en el contenido de almidón, incremento en la concentración de azúcares, reducción de concentración de ácidos y pérdida de firmeza (Azcón y Talón, 2008).

2.4.9 Abscisión foliar

El evento fundamental en toda abscisión, es la secreción de enzimas que hidrolizan la celulosa y pectinas, ambas de las células de la zona de abscisión (Reid, 1985). Esta secreción enzimática provoca el desprendimiento controlado de las hojas, que en especies frutales caducifolias comienza cuando las yemas entran en un periodo de

inactividad controlado por el acortamiento de la duración del día (Caffarra *et. al.*, 2011), combinado o no, con bajas temperaturas al inicio del otoño (Heide y Prestrud, 2005; Penfield, 2008).

La abscisión foliar, permite a los árboles sobrevivir al frío invernal, mediante un estado característico de reducida actividad general llamado endoletargo (Erez y Lavee, 1971; Chuine, 2000). El desprendimiento foliar, incluye una movilización de savia bruta y elaborada desde las hojas hacia los órganos permanentes (ramas, tronco y raíz) (Reid, 1985), movilización llamada flujo reverso.

2.4.10 Letargo

Se dice que una yema está en letargo cuando cesa visiblemente el crecimiento (Raven, *et. al.*, 1992). Este estado fenológico, permite a la planta prosperar ante condiciones de temperatura extremas, deficiencias hídricas, o factores climáticos o edáficos limitantes, por medio de la detención visible, y temporal, del crecimiento de yemas (Faust, *et. al.*, 1997). La disponibilidad de agua y nutrientes también pueden determinar a que una planta entre a letargo (Lang *et. al.*, 1987).

En regiones templadas, esta fase fenológica es importante porque asegura el desarrollo regular de las yemas de los árboles frutales. Asimismo, puede impactar significativamente fases de desarrollo subsecuentes, por lo que la supervivencia de estos órganos a las temperaturas heladas en el invierno es fundamental (Faust, *et. al.*, 1997).

Las yemas de un árbol están sujetas a tres diferentes tipos de letargo, que son: 1) paraletargo, detención del crecimiento de un órgano por factores endógenos, pero las causas que lo producen, se originan en un órgano distinto; 2) endoletargo, detención del crecimiento por factores fisiológicos dentro de la yema, por ejemplo balance hormonal. Aunque las condiciones ambientales son favorables, el crecimiento no se reanuda; 3) ecoletargo, el crecimiento es detenido por factores externos o condiciones ambientales desfavorables; cuando desaparecen se reanuda el crecimiento (Sarvas, 1974; Lang *et. al.*, 1987).

El endoletargo, es terminado mediante la exposición a bajas temperaturas durante largo plazo, ya que la acumulación de frío desactiva los inhibidores presentes en la planta, restableciendo la capacidad de crecer, aunque no promueve el crecimiento (Rohde y Bhalerao, 2007). Generalmente, es una acumulación específica de temperaturas las que causan que el endoletargo concluya (Erez y Lavee, 1971; Chuine, 2000).

Para salir del endoletargo, las yemas deben primero estar expuestas a temperaturas bajas (período considerado de acumulación de frío), y, posteriormente, a temperaturas moderadas (período de acumulación de calor) (Lang *et al.*, 1987).

Richardson (1974), y Shaltout y Unrath (1983), propusieron modelos en los que se asigna un nivel de eficacia para contribuir a la acumulación de frío que determina la salida del endoletargo. En estos modelos, los intervalos térmicos a través del tiempo, equivalen a la acumulación de Unidades Frío (UF).

Otro modelo de acumulación de UF es el modelo de Vega *et al.*, (1990). Ha sido aplicado en la región manzanera de Zacatlán, Puebla, para analizar el cálculo de UF. También ha permitido determinar el desarrollo de la palomilla de la manzana *Cydia pomonella*.

Durante su hinchamiento, las yemas acumulan el calor necesario para desencadenar los procesos de brotación.

2.5 Fruto de *Prunus salicina* cv. Methely

El fruto es una drupa elipsoidal o globosa, con epicarpio liso recubierto de pruina y brillante cuando ésta se elimina. Tiene una marcada sutura central poco profunda. El mesocarpio es jugoso y dulce, y de color rojo variable que, generalmente, es coincidente con el color del epicarpio (Agustí, 2004). Es altamente perecedero (Mitchell, *et al.*, 2008), y su aceptación en el mercado está relacionada con el sabor que resume las concentraciones de azúcares y ácidos orgánicos (Crisosto, *et al.*, 2004).

2.6 Algunos aspectos ecofisiológicos en la fenología

2.6.1 Peso Específico de Hoja

El Área Foliar, es una variable importante en los mecanismos de intercambio de agua y generación de energía (Lieth y Reynolds, 1984; Tsubo y Walker, 2002). Además, puede describir procesos fisiológicos del cultivo por medio índices derivados (Warnock, *et.al.*, 2006) como peso específico de la hoja (PEH).

El PEH, es uno de los estimadores más utilizados de la fotosíntesis (Secor *et. al.*, 1982); en *Malus domestica* fue positivamente relacionado con el porcentaje de flujos de fotones fotosintéticos (Barden, 1974). En *Prunus domestica*, las hojas en estados fenológicos lejanos a letargo y hojas con limbos largos, tienen porcentajes de materia seca y peso específico más altos que aquellas hojas temporalmente cercanas al letargo. Estos resultados fueron atribuidos a la acumulación de almidón y su efecto sobre el desplazamiento del agua (Hansen *et. al.*, 1982).

Por su parte Nava y Villegas (1994), al comparar cuatro portainjertos de cítricos en condiciones de vivero, encontraron diferencias de PEH entre los materiales. Dijeron que tales diferencias están asociadas a variaciones en las tasas fotosintéticas, y a diferencias anatómicas y morfológicas inherentes a cada especie o genotipo.

Según Barden (1978) y Marini y Sowers (1990), conforme el sombreado de hojas incrementa, el PEH decrece. En durazno, el incremento de la intensidad y duración de la sombra provoca una reducción del PEH, siendo las hojas jóvenes las más afectadas (Marini y Sowers, 1990). A nivel celular, la reducción de PEH ha sido atribuida a una menor cantidad de capas celulares del parénquima en empalizada y a un tamaño celular más pequeño (Wooge and Barden, 1987).

2.6.2 Concentración de nitrógeno en hojas

El nitrógeno se halla sólo por detrás del carbono, hidrógeno y oxígeno en la contribución de masa en los seres vivos. La mayor parte de este elemento forma parte de aminoácidos

y nucleótidos, y, las rutas biosintéticas que conducen a estas macromoléculas comparten la necesidad de nitrógeno. La mayor parte de los organismos mantienen una estricta economía en el uso de aminoácidos, nucleótidos y amoníaco; las plantas pueden utilizar amoníaco o nitratos como única fuente de nitrógeno (Nelson y Cox, 2009).

En algunos árboles frutales, el crecimiento foliar temprano y floración utilizan predominantemente nitrógeno derivado de su removilización desde órganos de almacenamiento (Sánchez, 2002). El suministro foliar de nitrógeno orgánico, puede ser benéfico, si el nitrógeno obtenido y transportado por las raíces es insuficiente para el requerimiento vegetal general. Esta insuficiencia puede ser debida a bajas temperaturas y exceso de humedad en el suelo, o al nulo crecimiento radical (Weinbaum *et. al.*, 1984).

El N ocasiona incrementos en el área foliar (AF) y en el índice de área foliar (IAF) debido a un mayor número y tamaño de hojas (McCullough *et. al.*, 1994); un mayor número de hojas se debe a la generación de ramas (Pearman *et al.*, 1977); y una alta expansión foliar es debida a un mayor número y tamaño de células (Hewitt, 1963).

Las láminas foliares tienen más longevidad en plantas abastecidas con N (Novoa y Loomis, 1981). En general, plantas con mayor cantidad de N presentan un color más verde en las hojas (Villar, 2003), debido a que este elemento forma parte de la clorofila. Por el contrario, deficiencias de nitrógeno tienen efecto directo en la síntesis de clorofila, ya que más de 75% del nitrógeno orgánico se localiza en forma de enzimas en cloroplastos (Marschner, 1986).

En este contexto, si el contenido de N en hojas es alto, la tasa fotosintética también lo será (Calderón *et. al.*, 1997). Sin embargo, ha sido difícil establecer una correlación entre Fotosíntesis neta (Fn) y contenido de N foliar, porque en condiciones de campo la Fn fluctúa durante el día, mientras que los contenidos de N en hojas permanecen prácticamente constantes (Ryugo, 1988). Además, el estado de disponibilidad de

nitrógeno y carbono depende, entre otros factores, de la cantidad de producción en el año (Lewis *et. al.*, 1964; Monselise *et. al.*, 1983).

Por lo anterior, el contenido de nitrógeno en hojas puede ser un indicador del crecimiento general, de la abscisión foliar y del flujo reverso de la savia de los árboles frutales.

2.6.3. Eficiencia en el Uso de la Radiación

La interceptación y utilización de la radiación solar a nivel de cultivo, son dos procesos que influyen en el crecimiento y en el rendimiento (Monteith, 1977). Esto es debido a que ambos procesos resultan en la producción de Materia Seca (MS) (Andrade y Ferreiro, 1996; Lee y Tollenar, 2007), y, la duración del ciclo ontogénico, junto a la capacidad de captura de radiación solar, impactan tal producción (Otegui *et. al.*, 1995)

Específicamente, la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) interceptada por los cultivos es transformada en biomasa, de forma que la pendiente de la relación lineal entre ambas variables, representa la Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR). Esta eficiencia es normalmente expresada en g de MS MJ⁻¹ interceptado (Sicclair y Muchow, 1999). Por su parte, el manejo agronómico y el potencial genético del cultivo, influyen significativamente sobre la EUR (Contreras, *et. al.*, 2012).

La densidad de población afecta en el desarrollo vegetativo y reproductivo. Estos tipos de desarrollo impactan directamente en el uso de los recursos, incluyendo los niveles de captura y utilización de la radiación solar, agua y nutrimentos (Cárcova, *et. al.*, 2003).

Por su parte, la Tasa de Asimilación Neta (TAN) indica la cantidad de biomasa acumulada en función del área foliar y del tiempo (Morales *et al.*, 2006). De acuerdo a Pearcy *et. al.*, (1994), la TAN es una medida de la eficiencia de las hojas para producir nuevo crecimiento vegetal, y tiene mayor importancia que otras variables fisiológicas como la tasa de crecimiento relativo (TCR).

2.7 Eficiencia de producción

El objetivo principal de cualquier cultivo es acercar la producción real a la producción potencial, que es la producción máxima esperable en condiciones óptimas del cultivo y para un determinado calibre de fruto. La producción potencial de una plantación frutal, está directamente relacionada con su capacidad para elaborar fotoasimilados; y esta capacidad es determinada por la luz y el potencial fotosintético de las hojas. El potencial fotosintético de hojas es dependiente de la disponibilidad de nutrientes, de agua y de la presencia de frutos (Royo, *et. al.*, 2009).

En cuanto a calidad de la producción, se sabe que la luz influye sobre el crecimiento y color de los frutos. En este contexto, la superficie foliar expuesta a la luz es mayor cuando el vigor de los árboles es significativo y la densidad de plantación es menor. Además, la diferencia de iluminación entre zonas del árbol es mayor cuando éste es más grande y menos formado, aunque las hojas del interior pueden resultar eficientes en el uso de la radiación en la medida que les incida algún rayo de luz (Lakso y Barnes, 1978).

En general, la fotosíntesis neta es máxima en el rango de 20-30° C (con RFA a saturación), comienza a disminuir por arriba de los 30° C y, prácticamente, cesa a partir de los 35° C (Faust, 1989).

La disponibilidad de nitrógeno influye mucho en el potencial fotosintético, existiendo una relación positiva entre el contenido de N en hoja y la fotosíntesis neta. Aunque hay que tener en cuenta que los aportes de N provocan mayor crecimiento vegetativo, lo que se traduce en más sombra y menor cantidad de carbohidratos disponibles para los frutos. La disponibilidad de agua tiene también un papel primordial, cuando el potencial hídrico foliar es inferior a -0.8 MPa, la fotosíntesis se ralentiza drásticamente (Faust, 1989).

En cuanto a la influencia de los frutos en la producción real, se sabe que su efecto “demanda”, estimula la producción y el transporte de fotoasimilados desde las hojas; cada fruto influye en todas las hojas ubicadas en las proximidades (20-50 cm). La

proporción de fotoasimilados destinados a las raíces y a las partes perennes del árbol, es menor cuando los árboles soportan una carga de frutos mayor (Palmer *et. al.*, 1991).

El desarrollo de semillas es también importante en el rendimiento. La mayor parte de la formación de frutos depende de la formación de semillas, pues estas sintetizan las hormonas de crecimiento de los frutos. Las auxinas son punto de atracción de nutrimentos para los frutos; un tejido rico en auxinas es un tejido de atracción de giberelinas. Las giberelinas en etapas de maduración temprana de los frutos, causan el aumento de tamaño y dureza de los mismos. Las citocininas estimulan el crecimiento de tejidos a través de la estimulación mitótica. Aunque el ABA inhibe algunos fenómenos de crecimiento y desarrollo, su concentración es relativamente alta en las partes jóvenes que crecen activamente (Jankiewicz, 2003).

2.8 Descripción relacional de variables fenológicas, fisiológicas y agrometeorológicas.

La fenología describe los cambios que se producen en las plantas, y cómo estos cambios son afectados por las condiciones ambientales (García, *et. al.*, 2002). Por su parte, la correlación estadística determina la relación o dependencia que existe entre dos variables que intervienen en una distribución bidimensional. Es decir, determina si los cambios en una de las variables influyen en los cambios de la otra; en caso de que esto suceda, las variables están correlacionadas o hay correlación entre ellas (Ditutor, 2014).

Ramírez (2009), sabiendo que era desconocida la correlación entre la fenología reproductiva y variables climáticas particulares, determinó, en especies vegetales silvestres, el grado de correlación existente entre fases fenológicas reproductivas y seis variables climáticas. Encontró que los valores mensuales de precipitación, evaporación, temperatura y humedad relativa, están positivamente correlacionados con el número de árboles con flores. También observó que el número de especies arbóreas con frutos inmaduros está negativamente correlacionado con la radiación. Además, se sugirió que la fenología reproductiva puede co-variar con atributos particulares del clima, dependiendo de la forma de vida y hábitat de la comunidad.

No se conocen coeficientes de correlación entre elementos climáticos y condiciones fisiológicas con ciertas fases fenológicas del ciruelo japonés. Sin embargo, este tipo de análisis estadísticos podría ayudar a conocer la influencia que el medio y las condiciones internas de la planta ejercen sobre la fenología.

2.9 Medidas repetidas, modelos de regresión y curvas de crecimiento

Las medidas repetidas se obtienen al medir repetidamente variables sobre la misma unidad experimental; y los datos longitudinales hacen referencia a medidas repetidas, donde la respuesta se observa en varios momentos subsecuentes en el tiempo sobre la misma unidad experimental. Esta información permite investigar cambios de características en el tiempo en el mismo sujeto. Para este tipo de datos interesa explorar la variabilidad entre sujetos y la variabilidad correspondiente a observaciones dentro de sujetos (Schabenberger y Pierce, 2001).

Por lo anterior, los métodos de regresión se utilizan para analizar fenómenos no controlados y registros históricos (Montgomery y Douglas, 1991). Las funciones de regresión lineal simple modelan una variedad de relaciones entre variables respuesta y variables predichas, donde el coeficiente de determinación (R^2) se utiliza para juzgar el grado de ajuste del modelo de regresión lineal simple.

En modelación de curvas de crecimiento, a diferencia de otras situaciones de mediciones repetidas, donde el objetivo es comparar tratamientos a través de su perfil temporal, se persigue estimar y predecir el crecimiento en función del tiempo (Thornley y France, 2007). En la modelación de curvas de crecimiento, distintas ecuaciones explican el crecimiento en función de un período considerado (Arnau y Balluerka, 2004). Debido a que el crecimiento está evaluado a través de mediciones obtenidas sobre un mismo individuo, es importante modelar la estructura de correlación de las observaciones dentro de sujeto para un modelo lineal o no-lineal (Kshirsagar y Smith, 1995).

El modelo logístico puede expresar el crecimiento o desarrollo en función del tiempo. Se caracteriza por tener forma sigmoidea, un punto de inflexión y dos asíntotas, una superior y otra inferior. El modelo exponencial es válido para crecimientos o decrecimientos continuos en los que las condiciones son siempre favorables (Calvo *et al.* 1994). Rojas *et al.* (2008) encontraron que las funciones lineales simple y múltiple, explican el crecimiento de frutos en función del tiempo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar del experimento

Esta investigación se llevó a cabo de enero de 2015 a septiembre de 2016, en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, México, específicamente en el huerto experimental “San José” con coordenadas 19° 29' Lat N y 98° 54' Long O, a una altitud de 2252 m (Figura 1).



Figura 1. Localización geográfica del huerto San José en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos (Fuente: Google Maps, 2015).

El clima del sitio es templado de altura, clasificado como BS1 kw(w)(i)g, según García (1988). La temperatura media anual es de 15.2°C; el mes más caluroso del año es junio con un promedio de 17.8 °C, y, el mes más frío, es enero con una media de 11.7 °C. Hay precipitaciones todo el año que en conjunto suman aproximadamente 590 mm. El mes más seco es febrero con casi 5 mm de precipitación, y el más lluvioso es julio con alrededor de 115 mm (Figura 2). Las temperaturas medias diarias varían en 6.1°C durante el año (Climate-data.org, 2015).

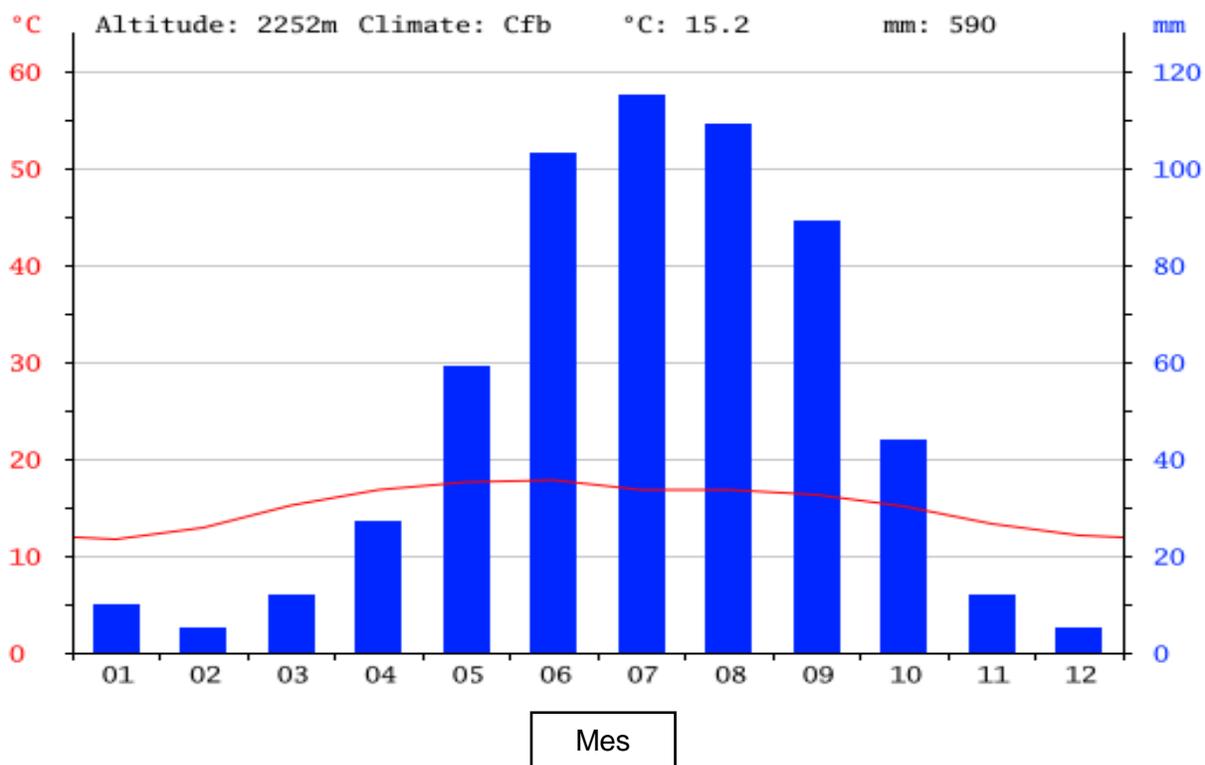


Figura 2. Climograma de Texcoco, México (Fuente: Climate-data.org 2015).

3.2 Material vegetal y manejo del lote experimental

Se utilizaron veinte árboles adultos de ciruelo japonés (*Prunus salicina*) cv. 'Methley' injertados sobre ciruelo Mirobolano (*Prunus cerasifera*). Los árboles tenían cuatro años de edad en 2015, y su selección para estudio se realizó por medio de un "muestreo por cuotas" con base en los siguientes criterios: árboles de 1.8 a 2 m de altura y 1.3 a 2 m de anchura de copa, de notable sanidad, sin síntomas visuales de trastornos nutricionales y con estructura íntegra (Figura 3).

Los árboles están plantados en marco real a 4 x 4 m, y tienen sistema de conducción "Tatura". La plantación cuenta con sistema de riego por goteo. El manejo del huerto comprende las siguientes prácticas culturales: Fertilización, podas de sanidad, de formación y de hijuelos, deshierbes con azadón, desbrozadora manual o con desbrozadora de cadenas, formación de coberteras vegetales, encalado de troncos de los árboles al inicio de letargo y monitoreo permanente de plagas y enfermedades.



Figura 3. Huerto “San José” de ciruelo japonés cv. ‘Methley’ en el Campus Montecillo Colegio de Postgraduados.

3.3 Registro de variables agrometeorológicas

3.3.1 Contenido de humedad en el suelo

Previo al monitoreo del contenido de humedad en el suelo, fue realizado un análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo, así como del pH del agua de riego.

El monitoreo de la humedad volumétrica del suelo se registró diariamente, del 5 de enero de 2015 al 19 de septiembre de 2016. A las 8 h, eran tomadas cinco lecturas para obtener un promedio; se utilizó un medidor de humedad “DELTA-DEVICES HH2®”, Cambridge, Inglaterra” (Figura 4), y la unidad de medición fue “m³/m³”.



Figura 4. Medición del contenido de humedad en el suelo.

Fue establecido el Contenido de Humedad Mínimo Permisible (CHMP) del suelo, para contar permanentemente con humedad suficiente que permitiera el correcto crecimiento y desarrollo de los árboles durante el tiempo de estudio.

3.3.2 Temperatura del suelo

Previo a la medición de esta variable, fue determinado el color del suelo en seco y en húmedo. Las temperaturas mínima y máxima del suelo fueron tomadas diariamente a las 7 y 15:30 h, respectivamente.

De enero a septiembre de 2015, ambas temperaturas a 30 cm de profundidad fueron medidas. Y a partir del 7 de octubre de 2015 y hasta el 19 de septiembre de 2016, también se registraron pero a 50 cm de profundidad. Las mediciones fueron realizadas con un “termómetro de sonda fija de 1450 mm ALLA FRAN®” (Figura 5), en grados centígrados.



Figura 5. Medición de la temperatura máxima y mínima del suelo a los 30 y 50 cm de profundidad.

3.3.3 Temperatura ambiental

Los registros de temperatura ambiental mínima y máxima diaria, se obtuvieron de la Estación Meteorológica del Colegio de Postgraduados (Figura 6), ubicada a 300 m del

huerto experimental. Las Unidades de Medición fueron grados centígrados, los registros de temperatura comprendieron del 5 de enero de 2015 al 19 de septiembre de 2016. Según Martínez (2007), la información de la estación meteorológica es consistente y continua, lo que garantiza representatividad de la zona de estudio.



Figura 6. Estación Meteorológica del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

3.3.4 Radiación solar

Con excepción al letargo (única fase fenológica durante la cual se midió diariamente la radiación incidente sólo a las 12 h), esta variable de estudio fue medida diariamente a las 7, 12 y 15 h.



Figura 7. Medición de la radiación incidente con rastreador de clima.

Las lecturas de radiación solar, obtenidas con un rastreador de clima “WatchDog® modelo 305, de Spectrum Technologies Inc.” (Figura 7), fueron multiplicadas por el factor .48 para transformarlos a radiación fotosintéticamente activa (Birch *et. al.*, 1999). Y siguiendo la metodología de Gallo y Daughtry (1986), el rastreador se colocó sobre el dosel de ambas palmetas del sistema de conducción “Tatura” de cinco árboles seleccionados, para obtener la radiación incidente (I_o) y debajo del dosel para obtener la radiación transmitida (I_t). El porcentaje de radiación interceptada (RI) se calculó con la siguiente ecuación $RI=[(I_o-I_t/I_o)100]$. El porcentaje de intercepción diario se obtuvo mediante la interpolación lineal entre dos mediciones. Las Unidades de Medición consideradas fueron micromoles (μM).

3.3.5. Precipitación

Los registros pluviométricos fueron obtenidos de la estación meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), y abarcaron de enero de 2015 hasta septiembre de 2016.

3.4 Determinación y análisis de las etapas fenológicas de *Prunus salicina* cv. Methley injertado sobre *Prunus cerasifera*

3.4.1 Registro de etapas fenológicas

El estudio fenológico inició con el hinchamiento de yemas en enero de 2015, y finalizó con el inicio de ecoletargo en septiembre de 2016. El registro de las fases fenológicas se realizó de acuerdo con Otero (2005). Diariamente, se realizaron observaciones para identificar cambios en la fenología de los árboles; fueron registradas las fechas de inicio y fin de las fases fenológicas así como su duración en días.

Las fases fenológicas consideradas fueron: Crecimiento vegetativo (flujos), acumulación radical, hinchamiento de yemas, brotación de yemas reproductivas y vegetativas, floración (inicio, plena y fin), crecimiento y desarrollo de frutos, caída (primera, segunda y ternera) y amarre de frutos (%), madurez fisiológica y de cosecha de frutos, abscisión foliar y letargo (ecoletargo y endoletargo).

Los resultados son descritos gráficamente en figuras localizadas en el apartado “Resultados y discusión”. Las figuras están integradas por eventos fenológicos, condiciones agrometeorológicas prevalecientes y condiciones fisiológicas de los árboles.

Se realizó un análisis de desfase temporal de fases entre los dos ciclo productivos bajo estudio. Cada fase fenológica fue correlacionada con ciertas variables agrometeorológicas y fisiológicas, y se ajustaron modelos mediante análisis de regresión para explicar el crecimiento de ciertos órganos vegetales.

3.4.2 Cálculo de requerimiento térmico (GDD)

Para conocer los requerimientos térmicos del cultivar Methley se empleó el Método Residual, siendo calculados los grados día de desarrollo (GDD) acumulados en el transcurso de la aparición de fases fenológicas (Snyder, 1985). La fórmula del método utilizado es:

$$\text{GDD} = [(T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) / 2] - T_b$$

Donde:

T max= temperatura máxima diaria.

T min= temperatura mínima diaria.

T b= temperatura base del ciruelo japonés (4.4° C)

3.4.3 Régimen Térmico del sitio experimental.

El Régimen Térmico del sitio de estudio fue calculado durante polinización y fertilización, crecimiento vegetativo (flujos), caída y amarre de frutos y senescencia y abscisión foliar. El cálculo se realizó con base en la definición de la FAO (1997), en la que el Régimen Térmico (RT) es la cantidad de calor disponible para el crecimiento y desarrollo de la planta durante el Período de Crecimiento, y que, normalmente, es calculado por medio de la temperatura media diaria que sobrepase la Tb del cultivo, durante el periodo de crecimiento. Así, que $RT = T_m - T_b$, donde Tm es la temperatura media ambiental diaria, y Tb es 4.4.

Sabiendo que el sistema radical, con sus cuatro tipos de raíces, depende de la temperatura de su medio para crecer y desarrollar (McMichel y Burke, 2002), fue calculado el RT del suelo del huerto con las temperaturas previamente tomadas. Lo anterior con la finalidad de conocer la cantidad de energía calorífica que permite la producción de masa radical.

3.4.4 Crecimiento vegetativo (flujos vegetativos)

Fueron utilizados veinte árboles. En cada árbol fueron seleccionadas cuatro ramas, una en por cada uno de los cuatro puntos cardinales. En cada rama se marcó el último nudo vegetal correspondiente a la sección de tallo donde inicia el último flujo vegetativo, correspondiente al ciclo fenológico en estudio (Figura 8). El crecimiento longitudinal apical acumulado a partir de los nudos marcados fue medido semanalmente, y fueron calculados los porcentajes relativos de crecimiento de acuerdo con Rocha *et. al.*, (2011).



Figura 8. Identificación de ramas donde se midió el crecimiento vegetativo.

3.4.5 Densidad y crecimiento radical acumulado

El muestreo radical se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Becerril-Román, *et. al.*, (2004). Con una barrena “tipo california” con volumen de extracción igual a 330 cm³, se obtuvieron muestras de suelo con raíces a 40 cm de distancia del tronco

en los cuatro puntos cardinales, de cinco árboles seleccionados; las profundidades del muestreo fueron 0-25 cm y 26-50 cm (Figura 9). Los muestreos radicales fueron determinados aproximadamente una vez por mes de septiembre de 2015 hasta agosto de 2016. Las raíces y partículas de suelo se separaron con un tamiz del número 2.



Figura 9. Muestreo radical, a) extracción de raíz b) tamizado de suelo y separación de raíces jóvenes y de crecimiento.

Posteriormente, se realizó en laboratorio un lavado de raíces con agua corriente para terminar de desprender aquellas partículas de suelo todavía adheridas a los órganos vegetales. Se formaron dos grupos de raíces. Un grupo conformado con raíces de crecimiento (color blanco) y nutrición o jóvenes (distinguidas por su color café claro y grosor ≤ 5 mm); y otro con raíces intermedias y conductoras (diferenciadas por su grosor ≥ 5 mm). Se pesaron en fresco todas las raíces de cada grupo en una balanza digital Aslep® (modelo EY-2200^a, Japón), y después fueron secadas en una estufa de secado de aire forzado Napco® (modelo 620, EUA), a 70 °C por 72 h, para obtener su peso seco (Cossio *et. al.*, 2008).

Se determinó la densidad radical de raíces de crecimiento y de nutrición, así como de raíces intermedias y conductoras a profundidades 0-25 y 26-50 cm. Usando un DECA, donde los tratamientos fueron las profundidades de extracción de muestras, se realizó una prueba de comparación de medias entre densidades de ambos grupos de raíces utilizando el procedimiento GLM y la prueba de Tukey ($P=0.05$). Las densidades fueron expresadas en g de raíz seca por volumen (330 cm^3) de suelo. Adicionalmente, fue obtenida la proporción “peso fresco : peso seco” de ambos grupos radicales, en cada uno de los muestreos.

Para la obtención del crecimiento radical acumulado, fueron utilizadas las densidades radicales previamente determinada. Esto con la finalidad de transformar tales densidades a porcentajes relativos de crecimiento radical acumulado durante las marchas de las fases fenológicas. La acumulación porcentual fue relativa al máximo porcentaje (100%) del crecimiento radical de mayor acumulación de entre los diez muestreos.

3.4.6. Hinchamiento de yemas

Diariamente, se monitoreó el establecimiento de la llegada del periodo de temperaturas ambientales favorables para el crecimiento del ciruelo japonés. Estas temperaturas se esperaban una vez satisfechas las necesidades de frío. Cubiertas las necesidades de frío y habiendo temperaturas para crecimiento, las yemas aumentan continuamente de tamaño (Fernández, 1988) que generalmente se manifiesta con un ensanchamiento (Sedgley, 1987).

Presentado el hinchamiento visual de las yemas basales y apicales de las ramas de los árboles, se llevó a cabo el registro de esta fase fenológica siguiendo la metodología propuesta por Otero (2005).

3.4.7 Brotación y crecimiento foliar

Dado que la brotación de yemas en *Prunus salicina* es acropétala, se registró el día de la brotación de las yemas reproductivas y vegetativas basales, de cada rama primaria previamente seleccionada en cada uno de los cuatro puntos cardinales de los veinte

árboles bajo estudio. El último día de esta fase fenológica, fue aquel día en que sucedió la brotación de las yemas reproductivas y vegetativas apicales más distales al cuello de los árboles.

El seguimiento del crecimiento foliar fue realizado mediante muestreos semanales de veinte hojas maduras de cada uno de los veinte árboles bajo estudio, durante los periodos reproductivos y vegetativos de los ciclos productivos 2015 y 2016, siguiendo la metodología de Becerril *et. al.* (2004).

A las hojas colectadas de cada árbol, se les midió el área foliar utilizando un integrador de área foliar LI-3100 (LI-COR, Inc. Lincoln, Ne, USA) (Figura 10). Se obtuvo el área foliar media (cm²) de las hojas muestreadas semanalmente, desde aproximadamente tres semanas después de la brotación de yemas foliares y hasta abscisión foliar.



Figura 10. Medición de área foliar con un integrador.

3.4.8 Floración

Fueron seleccionados al azar cinco árboles. Se eligieron cuatro ramas primarias (posicionadas cada una en un punto cardinal) con sus respectivas ramas sucesivas, en cada uno de los cinco árboles. Se contó el número total de botones florales (100% de

flores) en las cuatro ramas (Figura 11), y, de acuerdo con Bellini y Bini (1978), se consideró inicio de la floración cuando los botones florales abrieron un máximo de 25%, plena floración cuando el 80% de las flores estaban abiertas y los primeros pétalos cayeron, y fin de floración cuando el 80% de las flores perdieron sus pétalos.



Figura 11. Conteo del número total de botones florales.

3.4.9 Crecimiento y desarrollo de frutos

Se seleccionaron al azar siete frutos de diez árboles, que a su vez también fueron seleccionados al azar. De cada fruto se midió, semanalmente, el diámetro polar y ecuatorial para determinar la curva de crecimiento de los frutos (Figura 12). Estas mediciones se promediaron y se obtuvo el porcentaje relativo acumulado para obtener la dinámica de crecimiento (Rocha *et. al.*, 2011).



Figura 12. Crecimiento y desarrollo de frutos.

3.4.10 Caída y amarre de frutos

Fueron utilizados los mismos árboles y ramas en los que se analizó la floración, ya que se tenía contabilizado el número total de botones florales.

El amarre de frutos se efectuó acorde a la metodología de Vallejos (2002). Considerando el número total de botones florales y cuantificando cada tercer día el número de frutos prevalecientes hasta después de observar las dos primeras caídas, fueron contados los frutos que permanecían después de la segunda caída. Estos son los frutos amarrados (Figura 13).

La tercera caída de frutos se calculó con base en el número de frutos amarrados y frutos caídos después del amarre. El porcentaje total de amarre de frutos fue tomado como el total de frutos amarrados con respecto del total de botones florales.



Figura 13. Caída de frutos.

3.4.11 Madurez fisiológica y de cosecha de frutos

La madurez fisiológica fue determinada cuando los frutos amarrados de la variable “crecimiento de fruto” dejaron de crecer. La madurez de cosecha se determinó de forma visual con base en el color rojo de fruto (índice de cosecha utilizado a nivel de campo) (Figura 14).



Figura 14. Determinación de madurez fisiológica y de cosecha.

3.4.12 Abcisión foliar.

Fue seleccionada una rama primaria, con sus respectivas ramas sucesivas, de cada uno de los veinte árboles bajo estudio. En las ramas seleccionadas, se llevó a cabo el registro de las fechas en que sus hojas basales comenzaron a tener coloración amarilla (fase de senescencia foliar), así como las fechas en las que ocurrió su abscisión (inicio de abscisión foliar); el día que ocurrió la abscisión de las hojas apicales más distales al cuello de los árboles, fue registrado el fin de abscisión foliar (Figura 15).

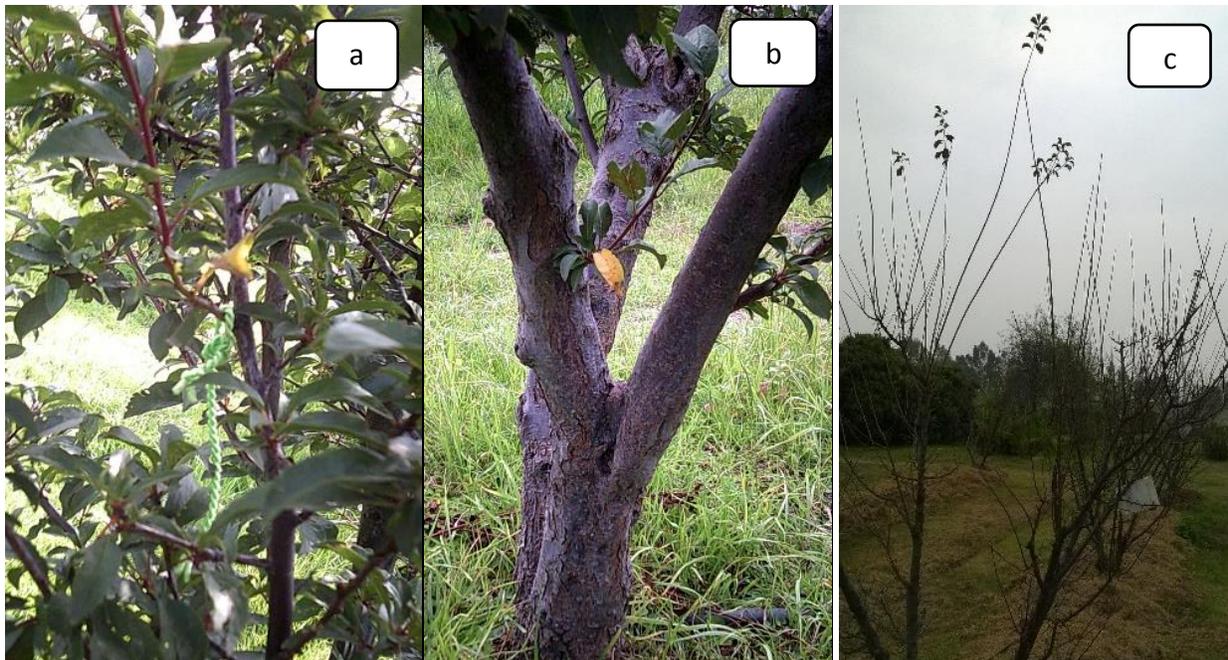


Figura 15. Determinación de, a) amarillamiento foliar b) abscisión de hoja basal c) abscisión de hoja apical

3.4.13 Letargo y cálculo de requerimiento de frío (Unidades Frío)

Se sabe que el letargo puede clasificarse en tres tipos, a saber: Ecoletargo, endoletargo y paraletargo. El inicio del ecoletargo en los ciruelos, fue registrado un día después del fin de abscisión foliar; y el fin del ecoletargo fue establecido un día antes del inicio de la acumulación de UF.

El inicio del endoletargo sucedió con la acumulación de Unidades Frío, y finalizó con el hinchamiento de yemas. Esta acumulación de UF fue calculada con los modelos de Richardson, *et. al.* (1974), Shaltout y Unrath (1983), y Vega *et. al.* (1990).

3.5 Estudio de variables fisiológicas

3.5.1 Peso Específico de Hoja

Las hojas utilizadas para estimar el área foliar de los árboles bajo estudio (ver subcapítulo 3.4.7), también fueron utilizadas para determinar el PEH. Obtenida el área foliar, las hojas fueron pesadas en fresco, lavadas con agua corriente y posteriormente con agua destilada; seguido, se orearon a temperatura ambiente durante dos horas. Para obtener

el peso seco, se empleó una estufa de aire forzado a 70° C durante 72 horas (Figura 16). Con los datos de peso seco de hojas (mg) y área foliar (cm²) se calculó el PEH con la siguiente ecuación: $PEH = \text{Peso seco de hojas (mg)} / \text{área foliar (cm}^2\text{)}$



Figura 16. Secado de hojas en estufa a 70 °C.

3.5.2 Concentración de nitrógeno en hojas

Conocido el PEH, las hojas utilizadas en dicha variable fueron molidas con un mortero. La determinación del nitrógeno se realizó con la metodología de Kjeldahl (Figura 17) para obtener la concentración de N (Chapman y Pratt, 1961).



Figura 17. Determinación del contenido de nitrógeno foliar con un destilador Kjeldahl.

3.5.3. Eficiencia en el Uso de la Radiación

Con datos Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada y los de Peso Específico de Hoja, se desarrolló un modelo de regresión lineal simple entre ambas variables, de forma que la pendiente representa la Eficiencia del Uso de la Radiación (Sinclair y Muchow, 1999). La EUR fue expresada en g de Materia Seca sintetizados por μM de fotones de RFAi, es decir, $\text{gMS } \mu\text{M}^{-1}$.

3.6 Eficiencia de producción

A través de un DECA, y utilizando el procedimiento GLM y la prueba de Tukey ($P=0.05$) en el paquete estadístico SAS 9.4, se realizó una prueba de comparación de medias y se determinó la diferencia de producción, kilogramos de fruta, entre 2015 y 2016 de los veinte árboles. Se calculó el rendimiento real de los árboles, y se llevó a cabo un análisis de eficiencia de producción de cosecha, donde la eficiencia fue determinada con la obtención de kilogramos de fruta producida por árbol en función del área transversal de su tronco (Miranda y Royo, 2003).

3.7 Correlación de fases fenológicas con variables agrometeorológicas y fisiológicas

Ciertas fases fenológicas fueron correlacionadas con variables agrometeorológicas y fisiológicas. Las correlaciones realizadas supusieron una lógica relación entre fenología, agrometeorología y fisiología. Para esto, se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman mediante SAS|CORR en SAS_studio University Version 2016 para Windows.

Fue analizado el tipo y grado de relación existente entre variables (Ditutor, 2014) agrometeorológicas o fisiológicas con fases fenológicas (Cuadro 1), considerando como correlaciones significativas aquellas cuyo valor numérico tuvo valores entre 0.6 a 0.8 y -0.6 a -0.8; y como correlaciones altamente significativa aquellas con valor numérico entre 0.81 a 1 y -0.81 a -1.

En conjunto, supusieron una distribución bivariada y se determinó la medida en que los valores de las variables agrometeorológicas y fisiológicas influyen en los cambios de la variable fenológica y viceversa.

Cuadro 1. Ejemplificación de una fase fenológica y variables agrometeorológicas y fisiológicas relacionadas estadísticamente.

Crecimiento vegetativo (flujos)	Contenido de N, PEH, AF, RFAi (%)
---------------------------------	-----------------------------------

3.8 Análisis de datos

Con los Paquetes estadísticos fueron determinados los coeficientes de correlación entre las fases fenológicas y las variables agrometeorológicas y fisiológicas. Asimismo, fueron determinadas pruebas de hipótesis y de comparación de medias por medio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de datos agrometeorológicos.

4.1.1 Contenido de Humedad en el Suelo

La determinación de características fisicoquímicas del suelo, previa al monitoreo del Contenido de Humedad (CH) en el suelo, arrojó los siguientes resultados: a los 0-25 y 26-50 cm de profundidad el suelo del huerto tuvo un contenido de Materia Orgánica (M.O.) igual a 1.95%, Porosidad Total de 45.5 y 46.6, respectivamente, y, textura Migajón Arenosa compuesta en 10% por arcillas; 71 y 73% arenas; y, 19 y 17% limos, respectivamente. Los diferentes valores de porosidad y porcentajes de arenas y limos, evidenciaron la variabilidad espacial (profundidad) de las propiedades físicas del suelo, variabilidad que Porta *et. al.* (2003) reportan como naturales.

Teniendo en cuenta que la textura del suelo tiene efecto significativo sobre el almacenamiento y movimiento del agua (Porta *et. al.*, 2003), además que el contenido de este líquido en el suelo es una de las principales limitantes para el crecimiento de las plantas, y, que tanto su exceso, como su carencia, provocan un efecto negativo en el rendimiento de los cultivos (Largaespada y Henríquez, 2015); fue determinada la Capacidad de Campo (CC) del suelo del huerto, arrojando valores volumétricos de 0.358 y 0.335 m³/m³ a los 0-25 y 26-50 cm de profundidad, respectivamente (Figura 18).

La medición del contenido de humedad está basada en mediciones que se realizan *in situ* y que permiten tomar decisiones en forma expedita, exacta, precisa y barata (Muñoz y Ritter 2005, Radulovich 2009), por lo que se estableció un Contenido de Humedad Mínimo Permisible (C.H.M.P.), que tuvo valor volumétrico igual al 50% del promedio de la Capacidad de Campo (C.C.) de ambas profundidades del suelo (Figura 18). En la figura 18 se observan los valores de C.C. y C.H.M.P., así como registros volumétricos del Contenido de Humedad en el suelo durante el ciclo productivo 2015.

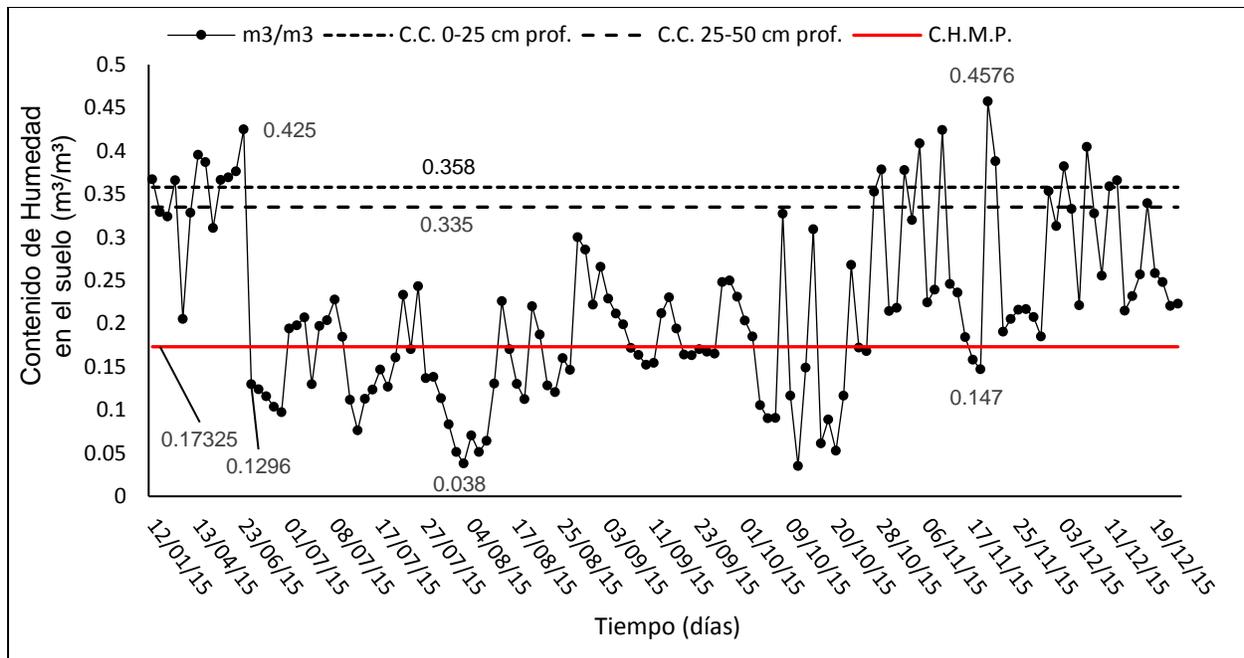


Figura 18. Contenido de humedad en el suelo durante el ciclo productivo 2015 (C.C., Capacidad de Campo; C.H.M.P, Contenido de Humedad Mínimo Permissible).

En la figura 18 se observa que el CH en el suelo fue variable en el transcurso del ciclo productivo 2015. Desde principios de enero y hasta el día 23 de junio (C.H.= 0.425) los valores de humedad fueron siempre superiores al C.H.M.P. y cercanos a C.C.; en este lapso se presentaron fases fenológicas desde hinchamiento de yemas hasta madurez de cosecha, así como el último periodo de crecimiento vegetativo significativo (19-26 junio).

Del 25 de junio (CH=0.1296) al 18 de noviembre (CH=0.147), el Contenido de Humedad en el suelo fue oscilante alrededor del C.H.M.P.; sin embargo, estos contenidos de humedad permitieron a los árboles terminar la última etapa del crecimiento vegetativo (27 junio-3 septiembre), desarrollar completamente la abscisión foliar (26 de junio-21 de septiembre) y el ecoletargo (22 de septiembre- 23 de octubre/1 de noviembre), además de llevar a cabo el inicio de endoletargo (23 de octubre/1 de noviembre). Cabe destacar que estas cuatro etapas fenológicas no tienen un requerimiento hídrico alto como sí lo tienen las fases suscitadas antes del día 24 de julio.

A partir del 19 de noviembre y hasta fin de año, el contenido de humedad en el suelo fue superior al C.H.M.P., condición que evitó desecación de ramas durante endoletargo por medio del mantenimiento permanente de la columna interna de agua.

Aunque el ciruelo Mirobolano (*Prunus cerasifera*) tiene adaptación a suelos arenosos, pedregosos y arcillosos (Cobianchi, *at. al.*, 1989), y la mayoría de los cultivares de *Prunus salicina* se adaptan a diferentes condiciones y tipos de suelo (Agustí -2004-, Childers -1978-), cuando el CH en el suelo no era suficiente para mantener valores iguales o mayores al C.H.M.P., se realizaban riegos complementarios o de auxilio; el agua de riego tuvo un pH promedio de 7.54 a 20.4°C. Según Childers (1978), los riegos son determinantes en el cultivo de ciruelo, por el buen efecto que estos hacen en el mantenimiento de humedad en el volumen de suelo que rodea a la raíz. Los árboles no expresaron síntomas de estrés hídrico en sus órganos durante el estudio fenológico.

Fuera del periodo de temporal los riegos fueron realizados con mayor frecuencia, lo que permitió que se mantuviera un CH por encima del mínimo permisible. La determinación de la C.C. y del Contenido de Humedad Mínimo Permisible en conjunto con la toma diaria de datos *in situ* con equipo sofisticado, permitió conocer el contenido de humedad en forma rápida; aspecto que, según Largaespada y Henríquez (2015), es prioritario para el manejo correcto del recurso hídrico en los agroecosistemas.

El sistema de riego del huerto es goteo, con dos goteros por árbol localizados cada uno a lado norte y sur del tronco de cada árbol, cuyo gasto de agua es de $8L\ h^{-1}\ 40cm^{-1}$. El tiempo de riego fue determinado siempre en función de la restauración de un contenido de humedad en el suelo igual o mayor al C.H.M.P. y menor a C.C. Durante 2015, los días de riego registrado fueron: 9 y 31 de julio; 7 de agosto; 8, 13, 15, 20, 22, 27 y 29 de octubre; 3, 5, 10, 19 y 24 de noviembre; 1, 3, 8, 14, 23 y 29 de diciembre.

Durante el ciclo productivo 2016 el contenido de humedad en el suelo fue menos

oscilante que en 2015 con respecto del contenido de humedad mínimo permisible y no hubo niveles de humedad cercanos al punto de marchitez (figura 19).

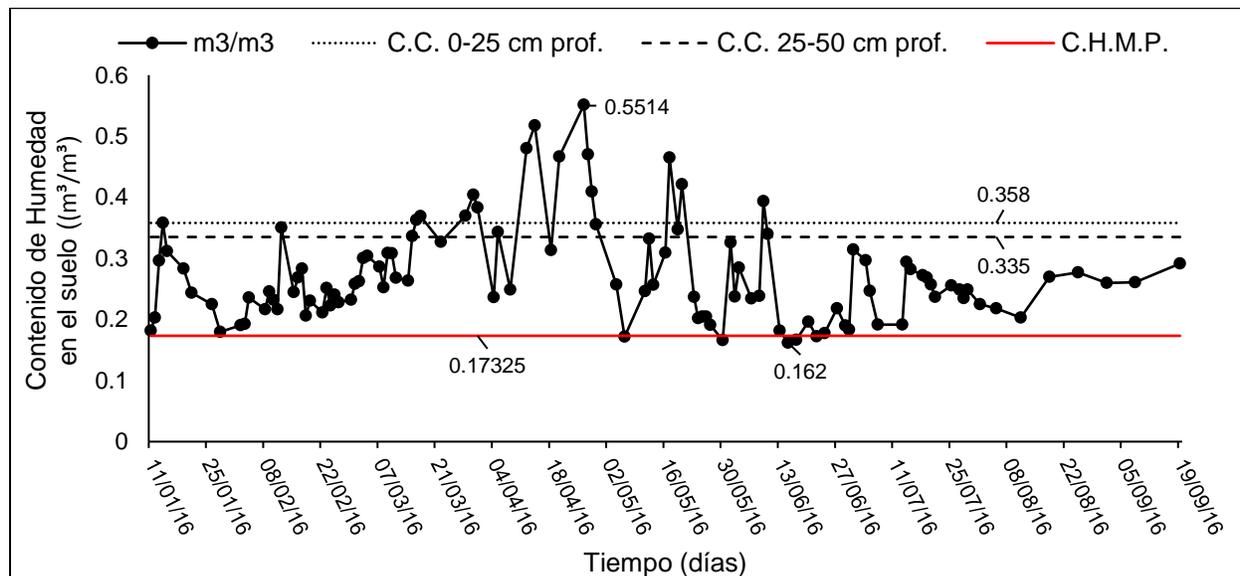


Figura 19. Contenido de humedad en el suelo durante el periodo vegetativo y reproductivo en 2016 (C.C., Capacidad de Campo; C.H.M.P, Contenido de Humedad Mínimo Permisible).

En ambos ciclos productivos, pero sobre todo en el ciclo 2016, se observan días en que el C.H. en el suelo llegó a ser mayor a la CC; específicamente, entre el 30 de marzo y el 9 de junio, tiempo en que ocurrió el inicio del crecimiento y desarrollo de frutos, así como casi la totalidad de madurez fisiológica y el inicio de madurez de cosecha. Sin embargo, se sabe que los ciruelos, en general, tienen tolerancia a la asfixia radical clasificada como intermedia, más alta que la del chirimoyo, durazno y chabacano (Fernández, 1996).

Además, dada la textura arenosa del suelo, generalmente, la saturación de agua era seguida, al día siguiente, por un contenido de humedad poco inferior a C.C., condición deseable desde el punto de vista fisiológico, debido a su efecto favorable en la transpiración, hidratación de tejidos, fotosíntesis, etc.

Del 1 de enero al 29 de marzo, y del 10 de junio al 19 de septiembre de 2016, el contenido de humedad en el suelo fue estable; es decir, se localizó siempre entre el mínimo permisible y la capacidad de campo, lo que favoreció el estado hídrico de los árboles durante el lapso final de endoletargo, así como el crecimiento vegetativo, acumulación radical y las fases fenológicas hinchamiento y brotación de yemas, foliación, floración, abscisión foliar y la entrada a ecoletargo, esta última sucedida el 19 de septiembre.

Los altos niveles de humedad en el suelo ayudaron a mantener la turgencia de la parte aérea y posibilitar las actividades bioquímicas, a un nivel, que aseguró la marcha de las fases fenológicas, ya que el agua perdida en la planta mediante la transpiración, hubo de reponerse continuamente con la absorción hídrica que se produce a través de las raíces; de acuerdo a Azcón-Bieto y Talón (2000), para que la absorción del agua por las plantas terrestres se lleve a cabo de forma eficaz, hay dos aspectos esenciales: 1) debe existir un contacto íntimo entre el suelo y las raíces, 2) a menos que el suelo siempre esté muy húmedo, las raíces han de crecer constantemente.

Durante 2016, los días de riego fueron: 5, 11, 13, 15, 18, 20, 22, 25, 27 y 29 de enero; 1, 3, 8, 11, 15, 18, 22, 25, y 29 de febrero; 3, 7, 11, 14, 16, 18 de marzo. A partir del 11 de abril y hasta el 5 de mayo fue incrementado el gasto de riego y su frecuencia, y fue cambiado el sistema de riego de micro-aspersión a goteo el día 21 de abril, teniendo riegos los días: 4, 7, 11, 13, 15, 18, 20, 22, 25, 27 y 29 de abril; 2, 5, 10, 16, 17 y 19 de mayo; 8 y 23 de junio.

El mantenimiento de un CH mayor al C.H.M.P., fue importante para el crecimiento foliar de árboles de ciruelo así como el amarre de frutos, lo que repercute positivamente en el rendimiento por árbol y en el incremento de la calidad de los frutos; por el contrario, una baja humedad del suelo pudo haber producido un mayor número de frutos pequeños (del Ángel, 2001). Además, el contenido de agua en el medio funcionó como medio de transporte de nutrientes a través de un mecanismo de flujo de masas (Gavande, 1973).

Lo anterior permitió suponer una adecuada nutrición de los árboles, que se reflejó en la producción obtenida.

Tomando en cuenta que el crecimiento y la productividad de los cultivos es proporcional al uso del agua (Cohen, 1994), el registro de la precipitación en conjunto con el monitoreo diario del Contenido de Humedad en el suelo permitió, mantener niveles de agua necesarios para el crecimiento de órganos vegetales y coadyuvar con la marcha de fases fenológicas en tiempo y forma. En ambos años no hubo un contenido de humedad constante que se localizara entre valores de C.C. y C.H.M.P., que es el Contenido de Humedad en el suelo agronómicamente deseable.

4.1.2 Temperatura del suelo

La toma de temperatura del suelo a dos profundidades: 0-25 y 25-50 cm, se sustentó en lo siguiente: Silva y Alonso (1976) indican que los patrones de uso más generalizado en el cultivo de ciruelo japonés tienen un sistema radical de tipo superficial no mayor a los 40-50 cm de profundidad. Además, durante los estudios de densidad radical (ver sección 4.2.2), no hubo presencia de raíces visibles a profundidades mayores a medio metro. Las lecturas de temperatura del suelo fueron tomadas en áreas cercanas al tronco de los árboles y al sistema de riego; es decir, las mediciones se tomaron en la zona del cajete.

Los resultados obtenidos mostraron que la radiación solar influyó permanentemente en la temperatura del suelo. La variación térmica del suelo, fue afectada por las fechas en que los rayos del sol del mediodía cayeron más perpendicularmente sobre la superficie del suelo; en este sentido, Forsythe (2002), explicó que conforme se acercan las fechas de la recepción perpendicular de los rayos del sol sobre el orbe, la radiación solar que calienta el suelo va adquiriendo más intensidad. La determinación en laboratorio del color “Pardo” en seco y “Gris Muy Oscuro” en húmedo del suelo, también fue determinante en

su enfriamiento o calentamiento por acción de una menor o mayor absorción de radiación solar, respectivamente.

La Figura 20 permite observar que la zona de estudio (templado de altura) presentó una fluctuación estacional en la temperatura del suelo, fluctuación que Allen *et. al.* (2000), comentaron para casos de zonas templadas, ya que a mediados de año se obtuvieron temperaturas considerablemente más altas que las registradas al inicio y final del mismo. Las fluctuaciones diarias de temperatura alcanzaron a afectar los 30 cm de profundidad.

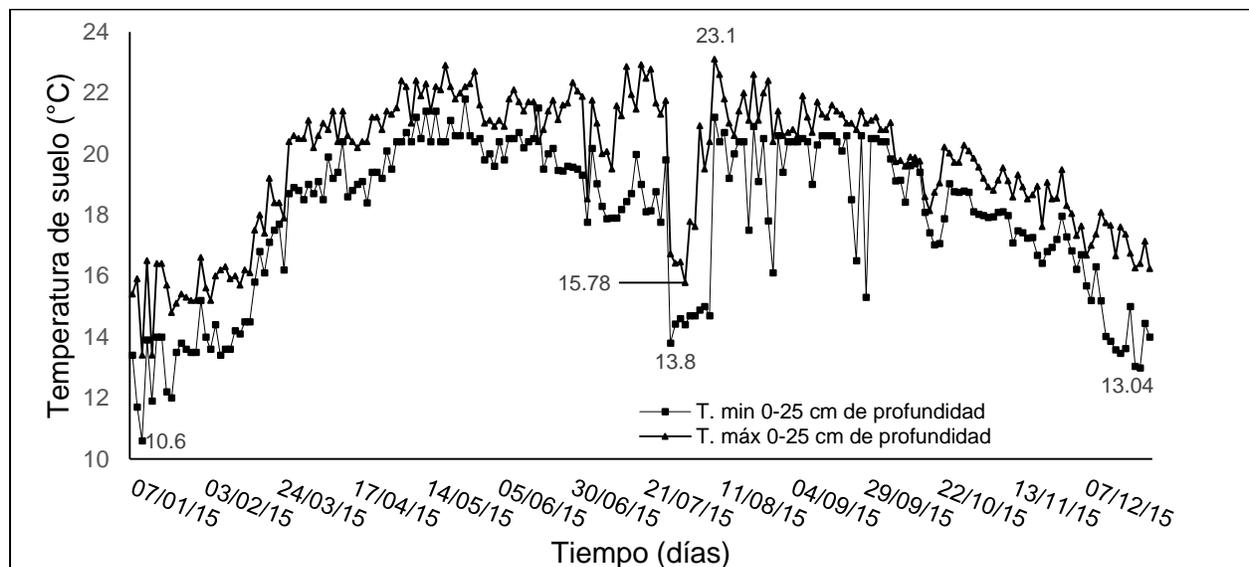


Figura 20. Temperatura del suelo a los 0-25 cm de profundidad durante el ciclo productivo 2015.

Del 28 de julio al 7 de agosto de 2015, aunque se esperaban altas temperaturas del suelo por acción de la radiación incidente de los rayos solares casi perpendiculares sobre la superficie terrestre, dada la cercanía de ambas fechas al solsticio de verano, se presentaron valores de temperatura del suelo entre 13.8° y 15.7° C, ambas muy parecidas a temperaturas del suelo durante invierno. Este comportamiento térmico pudo deberse a la supresión del calentamiento por la ocurrencia de lluvias y nubosidad, tal y como fue observado por (Forsythe, 2002), ya que interfieren en la incidencia de la radiación hasta el suelo. Así como también, al desgaste ocurrido de la cobertera vegetal,

lo que pudo permitir mayor salida de calor a la atmósfera, y también, es posible que haya sucedido por lluvias nocturnas que enfriaron el suelo (Forysthe, 2002).

En el contexto fisiológico, los cambios de temperatura del suelo pueden tener un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo del sistema radical de las plantas (Waisel, *et al.*, 1996), máxime si, como se ilustra en la Figura 20, éstos son continuos durante todo el año, y llegan a adquirir, después de medio periodo de evolución, valores térmicos muy diferentes a los registrados al inicio y término del mismo. Además, la diferencia temporal entre valores térmicos semejantes (correspondientes a inicio y fin de año), puede provocar también ciertos efectos cíclicos en la fisiología radical y general de la planta. La Figura 21 muestra la diferencia entre la temperatura del suelo a los 0-25 y 26-50 cm de profundidad. Se observa variabilidad de los valores térmicos del suelo en ambas profundidades.

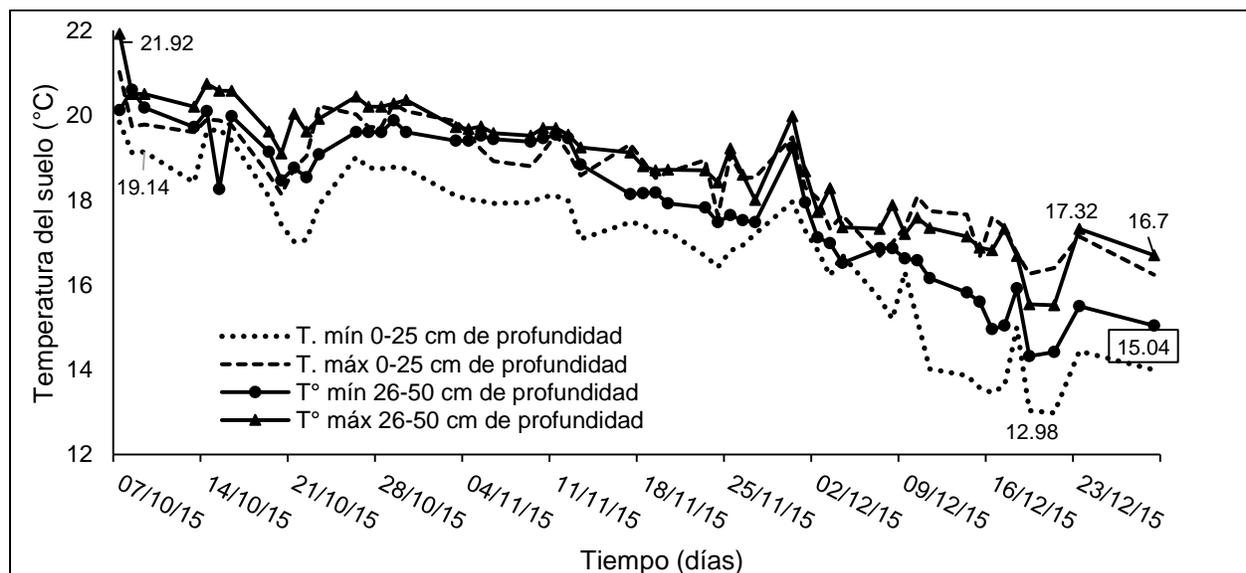


Figura 21. Temperatura del suelo a los 0-25 y 26-50 cm de profundidad de noviembre a diciembre de 2015.

Las temperaturas mínimas y máximas diarias del suelo a los 0-25 cm de profundidad tuvieron mayor diferencia térmica entre sí que las mínimas y máximas diarias a los 25-50 cm. Por otra parte, conforme las temperaturas ambientales fueron más frías (próximas

a invierno), la diferencia térmica máxima y mínima de suelo a los 0-25 cm de profundidad, fue mayor que la misma diferencia a los 25-50 cm. Este comportamiento obedece a que la temperatura del suelo hasta los 30 cm de profundidad en zonas templadas tiene mayor fluctuación que en zonas tropicales (Allen *et. al.*, 2000), así como al hecho de que, a más de 50 cm de profundidad, la fluctuación diaria es nula (Soil Survey Staff, 1999); por lo que, entre los 25 y 50 cm de profundidad la fluctuación térmica es menor.

En el ciclo productivo 2016, la temperatura del suelo fue monitoreada desde inicio de año hasta el día 19 de septiembre (Figura 22), día en que inició el ecoletargo. Similar a lo reportado por Forsythe (2002), los máximos valores de temperatura del suelo a profundidades monitoreadas, coincidieron con los máximos valores de temperatura ambiental. Aunque la temperatura del suelo pudo haber sido afectada por el manejo de la sombra, tipo de cobertera, profundidad de siembra (plantación caso frutales), riego y drenaje (Forsythe, 2002), siempre fue mayor de 12°C. Pudo haber enfriamiento en el subsuelo por advección de agua fría causada por la penetración de lluvias (Forsythe, 2002).

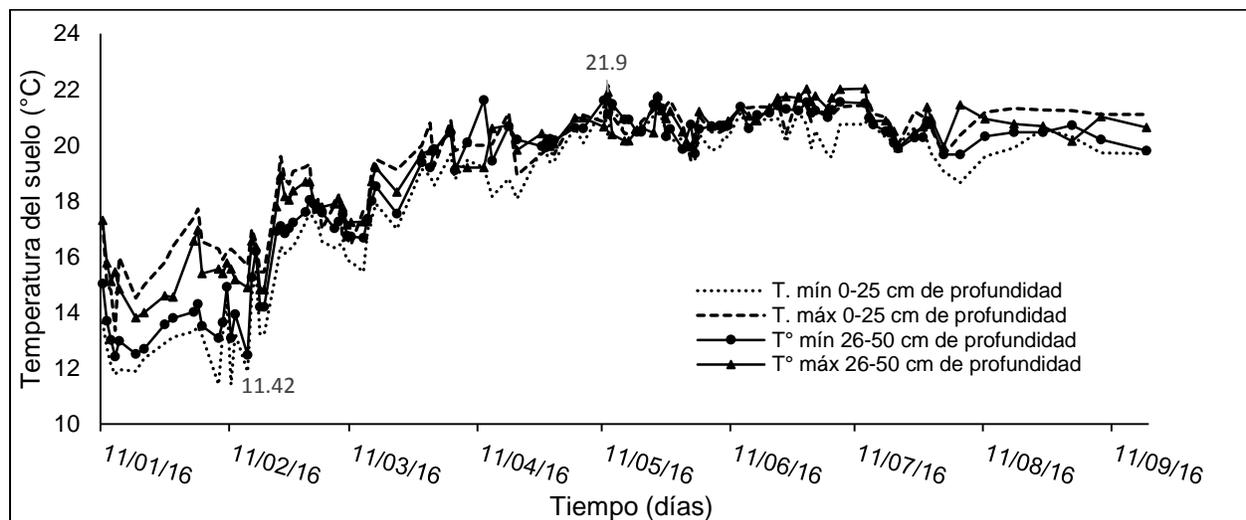


Figura 22. Temperatura del suelo a los 0-25 y 26-50 cm de profundidad durante el periodo vegetativo y reproductivo en 2016.

Durante el periodo de investigación, la temperatura del suelo fue menor a la ambiental tanto en horas de máxima insolación, como en las dos horas siguientes. Asimismo, fue mayor a la temperatura ambiental durante la salida del sol y hasta en las próximas dos o tres horas después de este suceso, siendo el efecto más marcado a los 0-25 cm de profundidad. En este contexto y como lo muestra la Figura 22, se sabe que en muchos casos las temperaturas del suelo son menores que las del aire, y, las fluctuaciones temporales de las primeras, son evidentes (Waisel, *et. al.*, 1996) de un día a otro, y en el transcurso del año.

En los árboles, las repercusiones de los diferentes valores térmicos del suelo en ambas profundidades, así como de su evolución durante el tiempo de investigación, pudieron ser de considerable afección al sistema radical. Por ejemplo, Rendig y Taylor (1989), observaron que los cambios de temperatura en distintos espacios del suelo determinan la acumulación de biomasa radical, e, indicaron, la existencia de zonas favorables para el desarrollo y elongación de las raíces durante el tiempo de estudio.

De acuerdo con Waisel *et. al.* (1996), el riego y la labranza afectan la temperatura del suelo y, subsecuentemente, el crecimiento y desarrollo radical. En la presente investigación se observó que los riegos realizados en el huerto durante 2015 y 2016, disminuían la temperatura del suelo; en contraparte, una labor de rastreo mecánico realizado el 14 de marzo de 2016, para controlar culturalmente la infestación de geómidos, pudo causar efecto de calentamiento de suelo por la exposición del material natural, abierto y expandido, a la incidencia de radiación solar.

Del sistema radical de los ciruelos se conoce que sus raíces tienden a la superficialidad y que, temperaturas del suelo inferiores a 10°C y superiores a 30°C, reducen marcadamente su desarrollo (Agustí, 2004). Las raíces reanudan su crecimiento cuando la temperatura del suelo es de 4-5°C (Tanaka, 1937, citado por Kolesnikov, 1971). En la presente investigación, durante todo el periodo de estudio, las raíces de los árboles

crecieron y desarrollaron en temperaturas de suelo fisiológicamente óptimas, ya que la temperatura del suelo de los 0 a 50 cm de profundidad estuvo comprendida siempre entre 4 y 30°C, y muy por encima de la temperatura base radical. Permanentemente, existió una repercusión térmica favorable para el crecimiento radical; además, las condiciones hídricas del suelo, como se explica en la sección anterior, permitieron un permanente crecimiento y desarrollo radical.

4.1.3 Temperatura ambiental

Clasificado como un lugar con clima templado de altura (García, 1988), en Montecillo, Texcoco, México, se registraron, durante el ciclo productivo 2015, temperatura mínima de -2.6 °C el 8 de febrero y máxima de 29.9 °C el 11 de mayo (Figura 23).

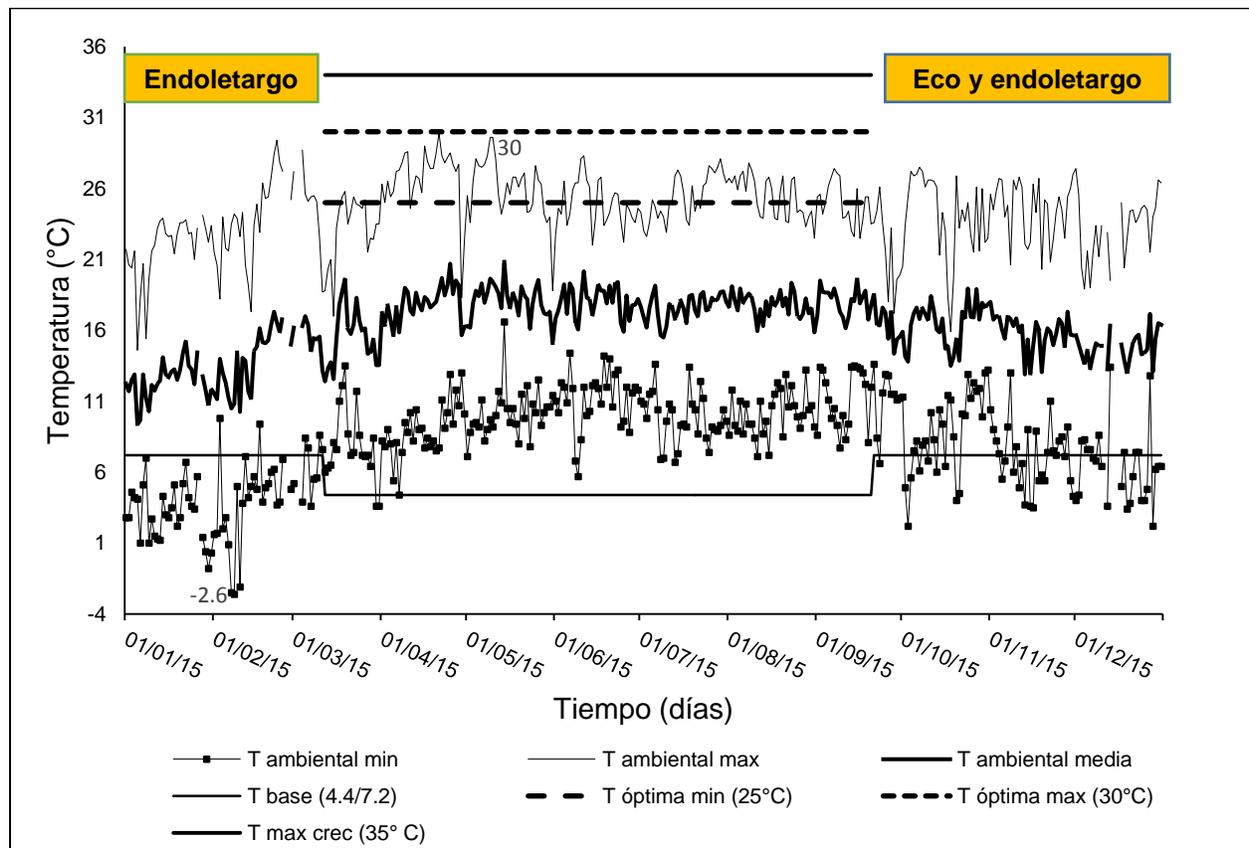


Figura 23. Temperaturas ambientales diarias durante el ciclo productivo 2015 y temperaturas cardinales del ciruelo japonés cv. Methley.

La Figura 23 permite observar que en 2015 el cultivo de ciruelo japonés creció y se desarrolló del 11 de enero al 21 de septiembre bajo condiciones térmicas deseables. Ambas fechas, corresponden al inicio del hinchamiento de yemas e inicio del ecoletargo, respectivamente. Considerando que la temperatura base (T_b) del ciruelo japonés es 4.4°C (Calderón, 1977), desde el hinchamiento de yemas y hasta el inicio de ecoletargo, los árboles no padecieron temperaturas ambientales medias diarias que provocaran la detención temporal de su crecimiento y desarrollo, y sí alcanzaron a estar sometidos a temperaturas comprendidas dentro del intervalo térmico óptimo que es de $25\text{-}30^{\circ}\text{C}$ (Seeley y Kammereck, 197; Agustí, 2004), cuando en ciertos días, de marzo a septiembre, las temperaturas máximas diarias superaban los 25°C .

Debido a que la temperatura del aire es un factor dominante en el control del desarrollo de los cultivos (Yang, *et. al.*, 1995), así como una de las principales fuerza impulsoras del crecimiento (Salazar-Gutiérrez, *et. al.*, 2013), es muy importante conocer que durante todo 2015, la temperatura ambiental permitió un crecimiento y desarrollo ininterrumpido del ciruelo japonés, tanto en su periodo vegetativo como reproductivo, lo cual puede traducirse en un efecto favorable y permanente para la fenología y fisiología general de los árboles.

Haber determinado que los árboles crecieron y desarrollaron bajo valores térmicos entre T_b y la temperatura óptima máxima (30°C), permite aseverar que la temperatura ambiental del lugar permitió que las fases fenológicas de crecimiento y reproducción llevaran a cabo una marcha adecuada en el transcurso del tiempo, efecto propio de este elemento climático (Salazar *et. al.*, 2013).

Durante el ciclo productivo 2016 fueron registrados, el 13 de febrero y 2 de mayo, -1.5°C y 32.1°C como temperaturas mínima y máxima, respectivamente (Figura 24). Similar a 2015, en 2016, desde el inicio del hinchamiento de yemas (8 de febrero) y hasta el último día de abscisión foliar (18 de septiembre), los árboles estuvieron sometidos a diario y

durante casi todo este periodo, a temperaturas medias comprendidas entre la T_b y la T óptima; en este mismo periodo, las temperaturas máximas diarias llegaron a estar situadas constantemente en el intervalo térmico óptimo de la especie.

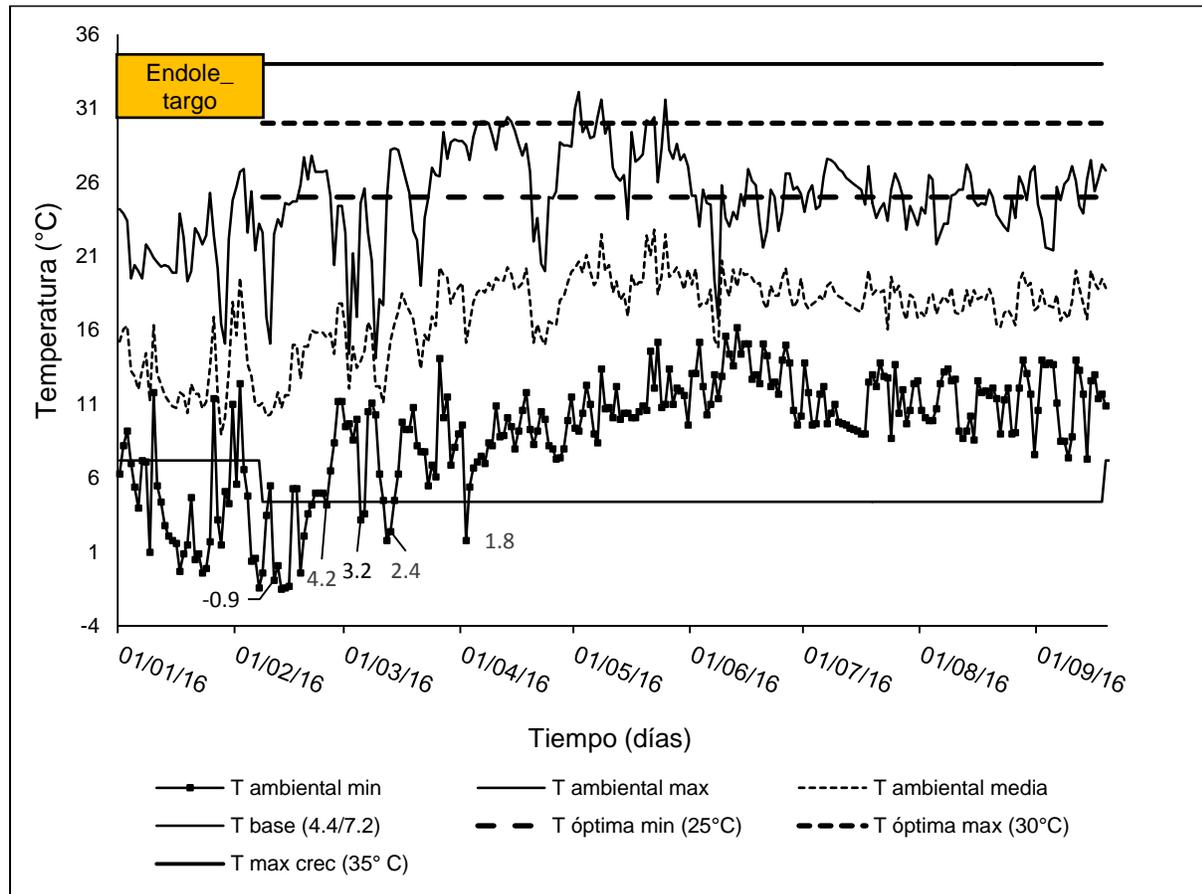


Figura 24. Temperaturas ambientales diarias durante el periodo vegetativo y reproductivo en 2016 y temperaturas cardinales japonés cv. Methley.

Debido a una tormenta invernal, del 8 (-0.9°C) al 24 (4.2°C) de febrero, del 5 al 13 de marzo (2.4°C) y el 2 de abril (1.8°C), en 2016, las temperaturas mínimas diarias fueron menores a la T_b del cultivo, tiempo en que sucedieron las fases hinchamiento de yemas (8 febrero-2 marzo), brotación de yemas florales (1-10 marzo) y foliares (3-11 marzo), floración (11-30 marzo) y crecimiento y desarrollo de frutos (24 marzo-10 junio).

Juscafresa (1997) afirmó que existen ciertos cultivares de ciruelo japonés apropiados para altitudes de 2600-3200 m, y, aclaró, que todas las variedades japonesas son más propias de ser cultivadas en alturas bajas y con climas templados, que en zonas relativamente altas y frías. Aunque los árboles de este estudio están plantados a 2252 msnm, la latitud y factores meteorológicos propiciaron una temperatura idónea para la especie durante el año 2016. En este sentido, Juscafresca (1997), no refirió el valor numérico de “las alturas bajas” y, aunque, Texcoco se localiza en los Valles Altos de México, no se percibió una afección negativa en la fenología y desarrollo del cultivo por acción de la altitud y sí una afección positiva por el clima templado de altura.

Dada la ubicación geográfica del sitio en estudio, la oscilación térmica durante ambos ciclos productivos fue de alrededor de 6.1 °C (Climate-data.org, 2015). En ningún día de ambos ciclos, los ciruelos estuvieron sometidos a temperaturas ambientales que pudieran causar daños anatómicos o desequilibrios fisiológicos a sus órganos en general. Es decir, no hubo temperaturas inferiores a -10°C durante letargo, temperatura perjudicial para las yemas durante dicha fase (Fernández, 1996, citado por Agustí, 2004). Durante la floración tampoco hubo temperaturas inferiores a -3.3 y -2.8 °C, perjudiciales para botones florales y antesis, respectivamente (Cobianchi *et. al.*, 1989). Durante fructificación, los árboles no presenciaron temperaturas inferiores a -1°C, que son perjudiciales para frutos que inician crecimiento, ni temperaturas superiores a 38 o 40°C que perjudican seriamente al árbol en general, y especialmente a frutos (Silva y Alonso, 1976).

Debido a la temperatura ambiental y radiación (ver siguiente apartado) del sitio, así como a la correcta selección del material vegetal para su cultivo en la zona bajo estudio, es posible que la máxima tasa fotosintética se haya presentado cuando las temperaturas fueron próximas a los 25° C, y existía moderada o alta intensidad lumínica. Con estas condiciones de temperatura y luminosidad, la asimilación neta de CO₂ fue favorecida, ya que según Seeley y Kammereck (1977), al medir fotosíntesis en la misma especie frutal,

hallaron la máxima tasa fotosintética bajo condiciones de temperatura y luminosidad similares a las descritas en este párrafo, y que fueron registradas en el presente estudio.

Durante el tiempo de estudio, los árboles crecieron en un ambiente térmicamente propicio para su cultivo. La fenología expresada estuvo exenta de trastornos fenológicos como retrasos, adelantos o aparición de etapas fenológicas fuera de fechas normales para la zona de estudio, así como de raquílicas o intensas expresiones de fases fenológicas o superposición anormal de las mismas. El estudio de fenología y desarrollo de *Prunus salicina* cv. Methley injertado sobre *Prunus cerasifera* fue trabajado con una correcta expresión fenológica general para el lugar de estudio, lo que garantizó confiabilidad en los resultados obtenidos.

4.1.4 Radiación solar

Después de la brotación de las yemas foliares, durante el transcurso de la aparición de las fases fenológicas vegetativas y reproductivas y hasta la abscisión foliar, diariamente la radiación solar influyó en la fenología de los árboles de ciruelo japonés, ya que esta corriente electromagnética, según Taiz y Zeiger (2002), es fuente de energía para procesos físicos y biológicos de la que dependen los árboles para elaborar de carbohidratos mediante fotosíntesis. Inclusive en época de letargo, la radiación influyó en la fenología radical por medio del calentamiento directo del suelo.

Esta energía natural al incidir sobre los árboles e interactuar con la temperatura y precipitación de la zona, influyó directamente en el crecimiento y rendimiento del cultivo, según Rivetti (2007), estos tres factores determinan ambas variables en los vegetales, y, con base en estudios realizados por Lee y Tollenar (2007), se puede considerar que, la radiación por sí sola, dio como resultado la producción de materia seca por medio de la intercepción y utilización que el dosel del cultivo hizo de ésta durante su ciclo ontogénico.

La Figura 25 ilustra la evolución de la radiación durante el lapso fenológico final del ciclo productivo 2015. Fueron representados los porcentajes de Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) y Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi), así como los valores de Radiación Incidente (I_o) y Transmitida (I_t). Todas estas variables fueron medidas en micromoles de fotones (μM).

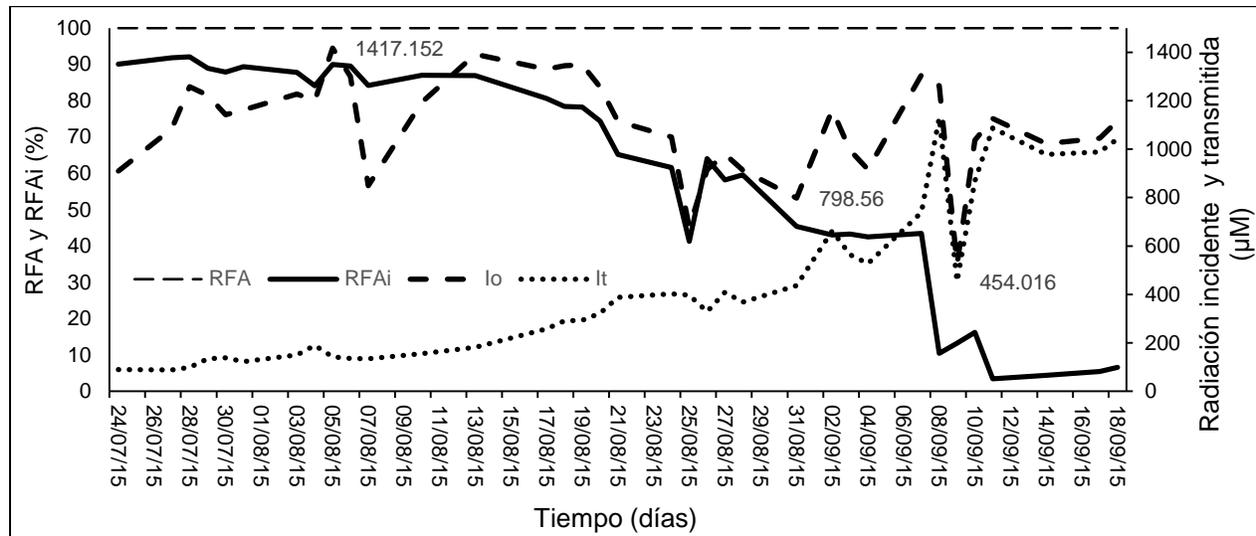


Figura 25. Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) e interceptada (RFAi) del 24 de julio al 18 de septiembre 2015.

Durante el lapso arriba ilustrado, las hojas de los árboles llevaban aproximadamente un mes de haber iniciado la abscisión foliar (26 de junio) y estaban a 4 días de alcanzar el inicio de ecoletargo (22 de septiembre). Desde el 13 de agosto toda hoja tenía al menos cierta superficie amarilla; cabe destacar el relativamente alto porcentaje de RFAi, así como los valores de I_o e I_t hasta el 31 de agosto. Aunque a estas fechas y momentos fenológicos, la radiación solar ya no es utilizada en la misma medida que cuando los árboles tienen hojas verdes ricas en pigmentos clorofílicos, pudo ser observado un último periodo del crecimiento vegetativo, del 18 de junio al 3 de septiembre. El 3 de septiembre ocurrió la detención del crecimiento vegetativo y el porcentaje de RFAi disminuyó considerablemente; el área foliar de los árboles logró interceptar parte importante de la RFA y I_o , que fue energía utilizada para producir la última parte del crecimiento vegetativo del cultivo en 2015.

El 8 de septiembre la cantidad de radiación incidente era equivalente a la radiación transmitida, y a partir del 12 de septiembre, la abscisión foliar era ya de una magnitud tal que la RFAi era prácticamente nula y casi toda la radiación incidente ahora era radiación transmitida.

De acuerdo con Salisbury y Ross (1994), los efectos de la radiación solar sobre las plantas pueden ser clasificados en fotoenergéticos (involucran la fotosíntesis) y fotoestimulantes (relacionados con el crecimiento y los movimientos násticos). Ambos efectos fueron importantes en la fenología general y producción de frutos de *Prunus salicina*; la figura 26 ilustra la evolución de la radiación solar durante las fases fenológicas vegetativas y reproductivas del ciclo productivo 2016.

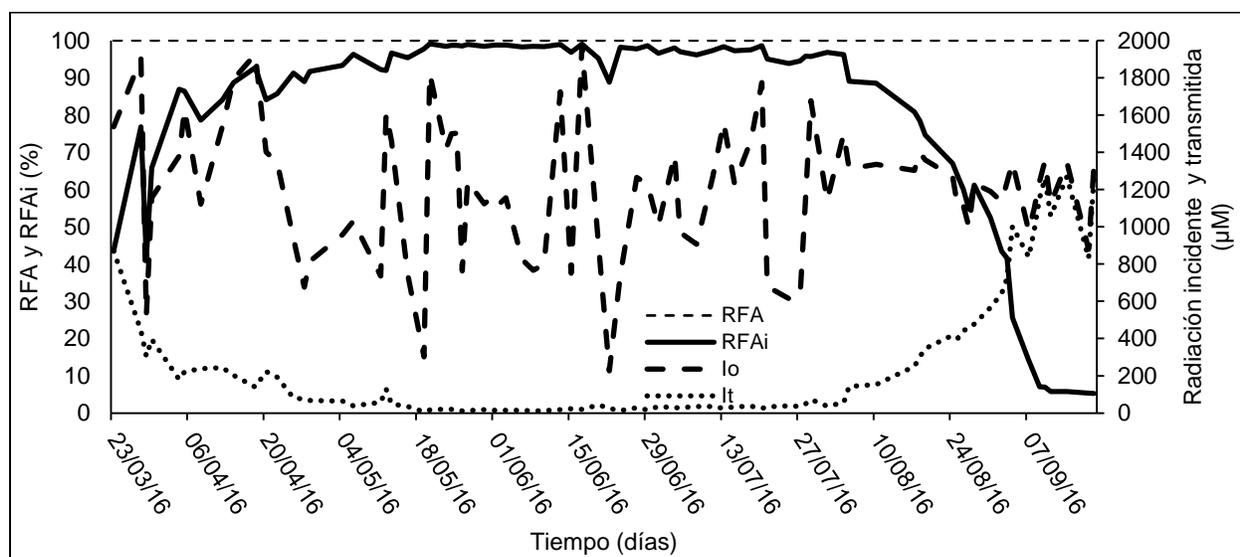


Figura 26. Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) e interceptada (RFAi) durante el periodo vegetativo y reproductivo en 2016.

La diferencia o distancia entre las líneas de lo y It , discrimina la cantidad de radiación interceptada por el dosel de los árboles de ciruelo japonés. Desde la brotación de yemas foliares y hasta el último día de abscisión foliar, puede observarse una evolución que evidencia una mayor interceptación de radiación que obedece al crecimiento foliar, así como la disminución de esta interceptación conforme la abscisión foliar transcurre.

A partir del 23 de marzo comienza el crecimiento de hojas maduras y los porcentajes de RFAi e *It*, incrementan y disminuyen, respectivamente. El día 4 de agosto es el punto de inflexión hacia la disminución de los porcentajes de RFAi e incremento de los valores de *It*. Del 23 de marzo al 4 de agosto ocurrieron la foliación, plena y fin de floración, crecimiento y desarrollo de frutos y madurez fisiológica y de cosecha. Asimismo, ya habían transcurrido 43 días desde el inicio de abscisión foliar, esto representa considerables porcentajes RFAi y altas cantidades de *It* fueron captadas por el dosel de los árboles durante la fases fenológicas importantes.

La utilización de la radiación interceptada, y especialmente de la RFAi, determinó la cantidad de materia seca sintetizada por los árboles (Monteith, 1977) durante el ciclo ontogénico (Lee y Tollenar (2007)). Esta materia seca es útil para la aparición, transformación y desaparición de órganos. Tres sucesos que según de Fina y Ravello (1973), delimitan las fases fenológicas, y que para fines de esta investigación, hicieron posible el registro puntual de fases fenológicas en ambos ciclos productivos.

Según Sinclair y Muchow (1999), la RFAi es radiación transformable en biomasa. En la presente investigación, esta radiación tuvo valores porcentuales muy cercanos al total de RFA durante el transcurso de la mayoría de fases fenológicas. Aunque cabe destacar los altos valores porcentuales de RFAi durante el crecimiento y desarrollo de frutos, porque la capacidad de captura de radiación solar y, específicamente de RFA, impactan el rendimiento (Otegui, *et. al.*, 1995).

4.1.5 Precipitación

Gran parte de los alimentos en el futuro próximo, procederán, sobre todo, de cultivos de secano y no de cultivos de riego, debido a las limitadas posibilidades de incrementar el

área bajo riego, además, será importante el cambio del manejo de suelo para afectar favorablemente su cantidad de humedad (Shaxson y Barber, 2005).

Como parte de un manejo sustentable del cultivo de ciruelo, así como del aprovechamiento del agua de lluvia, las líneas de los árboles estuvieron permanentemente cubiertas con una cobertera natural compuesta por pasto cortado y seco en combinación con madera triturada obtenida de la poda de los árboles (Figura 27). La finalidad de mantener la cobertera fue lograr la mayor retención posible de humedad en el suelo (humedad procedente del agua de lluvia), así como evitar una alta evaporación hídrica. Previo al inicio de la investigación, las hileras de árboles ya tenían cobertera, pero su mantenimiento se llevó a cabo por medio del aporte de más material orgánico los días 15 y 16 de octubre en 2015 y 7 y 8 de marzo en 2016.



Figura 27. Cobertera orgánica de las hileras de los árboles frutales.

Dado el clima de Texcoco, México, en el huerto no se esperaba una cantidad de lluvia próxima a los 1000 mm que Childers (1978) reporta adecuada para el cultivo de ciruelo, y, aunque tampoco se tuvieron los 800 mm de precipitación que Morales (2002) señala como necesarios para el satisfactorio cultivo de la especie, sí se tuvo una precipitación ,que, junto a los riegos de auxilio permitió la correcta marcha de fases fenológicas, así como un satisfactorio crecimiento y desarrollo de órganos vegetales en el ciclo productivo 2015. En este sentido, Calviño, *et. al.*, (2003), señalaron que el principio y fin de las

etapas fenológicas son buenos indicadores del crecimiento potencial de los cultivos. La figura 28 ilustra la distribución de 694.1 mm de lluvia durante el ciclo productivo 2015, cantidad de lluvia normal en Texcoco, México, según Climate-data.org (2015).

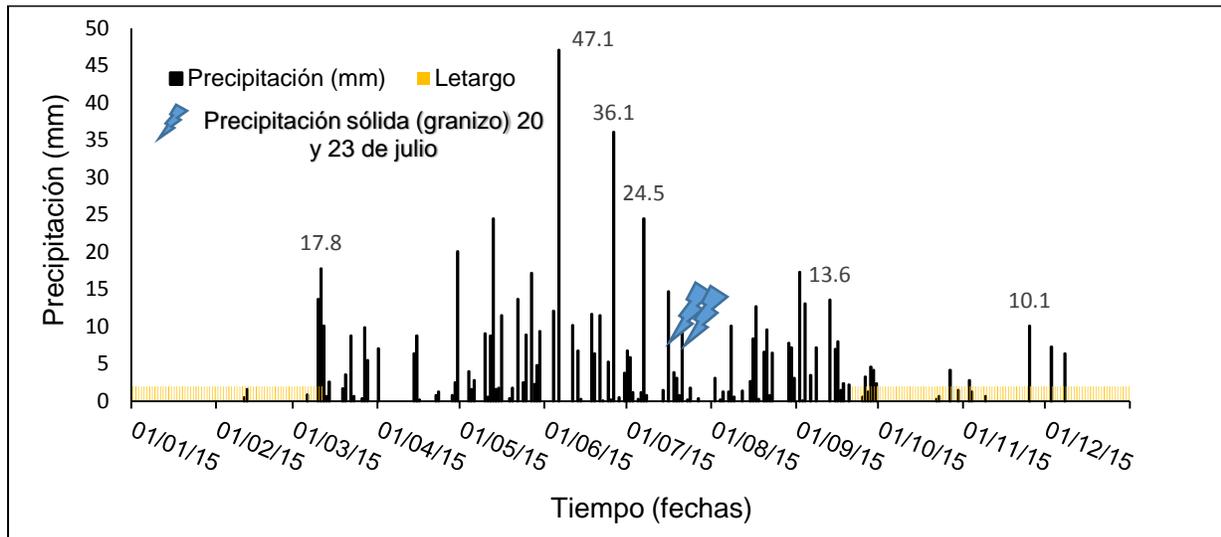


Figura 28. Precipitación durante el ciclo productivo 2015.

Las dos primeras precipitaciones de 2015 (11 y 12 de febrero) y el inicio del periodo de precipitación más o menos establecida a partir del 6 de marzo, coadyuvaron a tener buenos contenidos de humedad en el suelo desde la brotación de yemas reproductivas y vegetativas iniciada el 5 y 8 de febrero, respectivamente, y hasta la floración (18 de febrero-9 de marzo), fase especialmente crítica un cuanto a requerimiento hídrico en especies frutales, debido a que un déficit prolongado de agua puede evitar la iniciación floral (Jackson, 1969) o detener el crecimiento general (Jackson y Sweet, 1972).

El máximo periodo de precipitación inició aproximadamente desde la mitad del periodo de crecimiento y desarrollo de frutos, y terminó poco después del inicio de ecoletargo (22 de septiembre), abarcando aproximadamente la mitad de la fenología reproductiva del ciruelo así como la mayor parte de la fenología de vegetativa de la especie en 2015.

Las lluvias posteriores al 21 de septiembre y los riegos, ayudaron a mantener los niveles de la columna de agua interna de los árboles durante el letargo; no hubo desecación de ramas. Sin embargo, el sistema foliar de los árboles vio afectada su integridad física con precipitaciones sólidas en forma de granizo ocurridas los días 20 y 23 de julio (Figura 29).



Figura 29. Daño foliar causado por precipitaciones sólidas (granizo) del 20 y 23 de julio de 2015.

Los registros de la precipitación ocurrida en 2016 son mostrados en la figura 30. Simultáneamente al monitoreo pluvial, existió continuo cuidado de la integridad y sanidad de la cobertera vegetal con la finalidad de mantener aceptable el Contenido de Humedad en el suelo, evitando alta evaporación, ya que el agua de lluvia que se infiltra en el suelo, integra humedad susceptible de ser usada por los árboles para la transpiración (Shaxson y Barber, 2005).

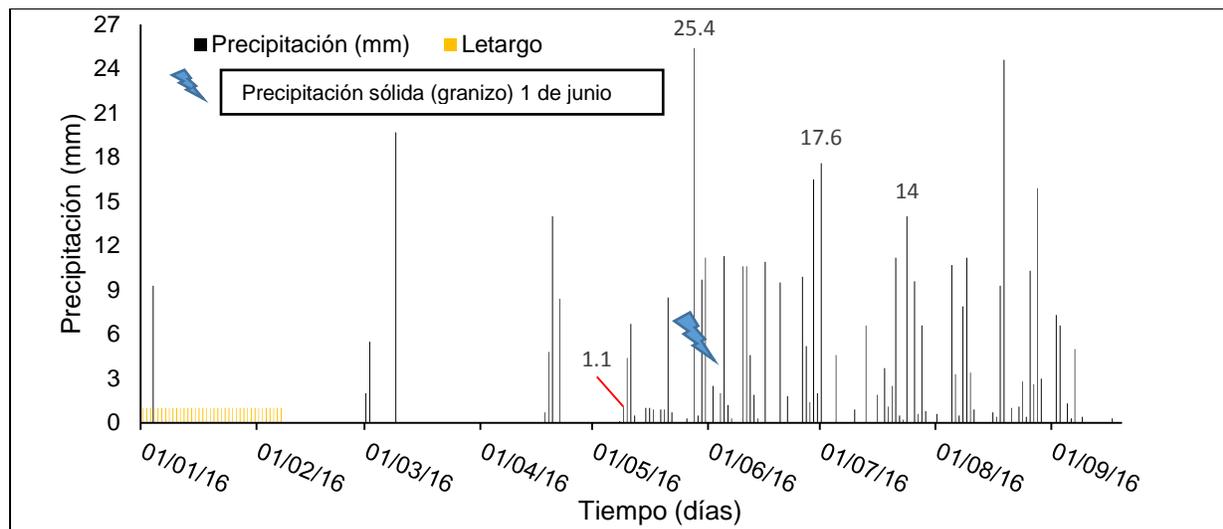


Figura 30. Precipitación durante el periodo vegetativo y reproductivo en 2016.

A diferencia del 2015, en 2016, las precipitaciones fueron menos intensas pero sus magnitudes fueron más parecidas entre sí; además, el periodo de establecimiento de lluvias constantes fue retrasado y hubo tres intervalos temporales, bien definidos y duraderos, con ausencia de lluvias previos al 9 de mayo (1.1 mm). La precipitación total durante el tiempo de estudio en 2016 fue de 454.9 mm, empero, el contenido de humedad en el suelo fue más uniforme y mayor que en 2015, debido al mejor suministro de riegos.

A través del agua de lluvia, elementos minerales existentes en la atmósfera entraron en el ecosistema terrestre en forma de iones disueltos, núcleos de condensación de agua de lluvia y/o en la forma elemental; estos ingresos variaron en función de la estación del

año y cantidad de partículas existentes en el aire (Andrade, *et. al.*, 1995). Además, los elementos minerales ingresados al ecosistema terrestre pudieron haber sido retenidos en medida considerables por la materia orgánica integrada al suelo derivada de la cobertera vegetal; no existieron síntomas visuales de deficiencia nutricional en los árboles.

Según (Cohen, 1994), el crecimiento y la productividad de los cultivos es proporcional al uso del agua, y, aunque un déficit de humedad en el suelo reduce normalmente la producción final, un estrés hídrico moderado puede llegar a mejorar la eficiencia del uso de agua y mejorar la calidad de los frutos, por lo que constituye una herramienta útil en la fruticultura. En este contexto, aunque la intención inicial era mantener niveles hídricos muy cercanos a capacidad de campo, el hecho de no haberlos tenido, pudo incrementar la Eficiencia en el Uso de Agua por parte de los ciruelos.

Con riegos, se evitaron posibles condiciones hídricas estresantes al cultivo, y no hubo niveles de humedad que llegaran al PMP del suelo; en consecuencia, fue adecuada la intensidad, duración y marcha de las etapas fenológicas del cultivo.

Además del uso de registros pluviométricos y el monitoreo del Contenido de Humedad en el Suelo, fue importante tener nociones del hábito de crecimiento del cultivo frutícola (Chalmers *et. al.*, 1984) para la realización de riegos, y así manejar debidamente periodos de mayor o menor requerimiento hídrico, por ejemplo, floración y abscisión foliar, respectivamente, por lo que el rendimiento no se vio afectado (Shock *et al.*, 1998).

4.2 Fenología y requerimiento térmico de *Prunus Salicina* cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirobolano

Según Almaguer (1986), el establecimiento de plantaciones frutales comerciales en México hasta los años 80, se realizó mediante la observación y selección de individuos sobresalientes en determinadas regiones y por la adopción de cultivares obtenidos en otros países. Esta práctica no ha cambiado, provocando el desconocimiento del comportamiento fenológico y hábitos de crecimiento y desarrollo de los árboles en su lugar de cultivo; existen casos excepcionales en que, sin previo conocimiento de los requerimientos y características agronómicas de los cultivares, éstos resultan ser casualmente aptos para su lugar de plantación. Es necesario entonces conocer la fenología y hábitos de crecimiento y desarrollo de los árboles frutales de una plantación.

La investigación científica de fenología y desarrollo permite resarcir en medida significativa el incorrecto establecimiento de plantaciones frutales cuando es el caso, o bien, conocer la expresión fenológica y el correcto desarrollo de los frutales cuando han sido correctamente seleccionados para su establecimiento en un lugar determinado. En este sentido, el principio y fin de etapas fenológicas son indicadores del crecimiento potencial de los cultivos (Calviño, *et. al.*, 2003) y pueden ser usados para hallar momentos de crecimiento de órganos.

Conociendo las fases fenológicas de los árboles con frutos tipo drupa propuestas por Burgos (1984) y Meier (1997), y considerando la definición de fase fenológica propuesta por de Fina y Ravello (1973), las fases consideradas en la presente investigación fueron: Crecimiento vegetativo (flujos vegetativos), densidad y acumulación radical, hinchamiento de yemas, brotación de yemas reproductivas, vegetativas y crecimiento foliar, floración (inicio, plena y fin), crecimiento y desarrollo de frutos, caída (primera, segunda y tercera) y amarre de frutos (%), madurez fisiológica y de consumo de frutos, abscisión foliar y letargo (ecoletargo y endoletargo). De este modo, se cumplió con el estudio de todas las fases fenológicas propuestas al día de hoy.

4.2.1 Crecimiento vegetativo

En 2015, se midió el crecimiento vegetativo a través de flujos a partir del 18 de junio, fecha en que las ramas de los árboles ya habían tenido un crecimiento vegetativo acumulado mayor al 90% con respecto al total alcanzado a finales de agosto. Este crecimiento seguramente pudo comenzar desde el momento de la brotación de yemas vegetativas o foliares, ya que, según Muñoz *et. al.* (1993) y Millard (1995), en árboles frutales, el crecimiento de primavera del meristemo apical caulinar depende de la movilización del nitrógeno almacenado en los órganos perennes.

Además, según Taiz y Zeiger (2006), los meristemos apicales y no apicales de un brote pueden presentar actividad estacional y crecer rápidamente en la primavera, entrar en crecimiento lento en verano y entrar en letargo en otoño. Estos sucesos son similares a lo representado en la figura 31, debido a que poco más del 92 % del crecimiento vegetativo fue logrado desde el día de brotación de yemas vegetativas (8 febrero) hasta el día de inicio de las mediciones (18 de junio), tiempo que abarcó casi por completo la primavera. El restante 8% de crecimiento vegetativo, que es el ilustrado en la gráfica, ocurrió después del 18 de junio y durante gran parte de verano, ya que a partir del día 3 de septiembre cesó completamente el crecimiento.

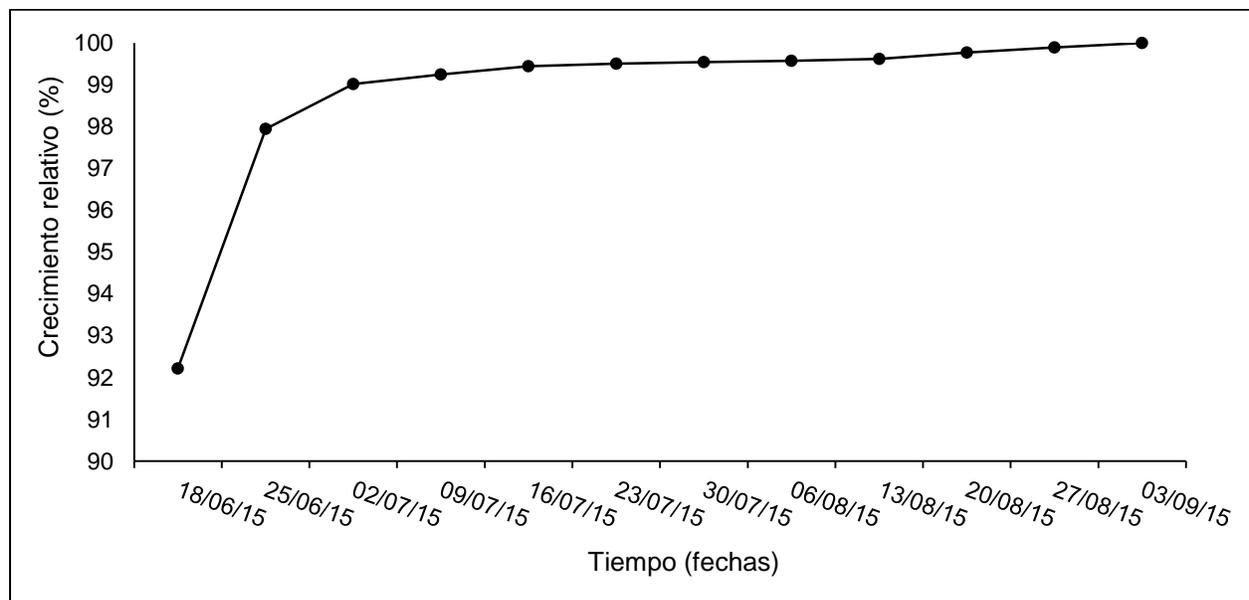


Figura 31. Crecimiento vegetativo (flujos) en el ciclo productivo 2015.

El contenido de humedad en el suelo, durante el lapso de mayor crecimiento de los flujos vegetativos en 2015 (del 8 de febrero al 25 de junio), estuvo siempre por encima del C.H.M.P. Del 26 de junio al 3 de septiembre, tiempo en que la tasa de crecimiento disminuyó, el contenido de humedad en el suelo osciló positiva y negativamente al 50% de C.C. La temperatura ambiental media diaria desde la brotación de yemas vegetativas (8 de febrero) hasta el 10 de marzo, estuvo ligeramente situada por debajo de la T_b ; sin embargo, desde el 11 de marzo y hasta el 3 de septiembre se situó por encima de la T_b y debajo de la T óptima.

El monitoreo de la radiación durante la fase final del crecimiento de los flujos vegetativos fue importante para conocer que aún iniciado el flujo reverso de savia (26 de junio, inicio de abscisión foliar), existió radiación utilizable. Aunque el crecimiento de los flujos al momento de la senescencia foliar no fue significativo y las hojas comenzaban a ser menos fotosintéticas, debió ser importante la incidencia de radiación solar para generar actividad fotosintética que permitiera cierta Tasa de Asimilación Neta, es decir, que permitiera generar una acumulación de biomasa en función del área foliar fotosintética y del tiempo (Morales, *et. al.*, 2006); el hecho de que haya existido una TAN, según Pearcy *et. al.*, (1994), indica la eficiencia de las hojas para producir nuevo crecimiento vegetal, que, para el caso bajo estudio significó el último flujo vegetativo de crecimiento.

Esta energía puede ser importante en estudios de variables fisiológicas en los que a partir de la TAN se estudie la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), estudios recomendados y previamente realizados por Pearcy *et. al.*, (1994).

El día 3 de septiembre de 2015, cuando el crecimiento longitudinal de los flujos cesó, pudo haber iniciado la determinación de las yemas florales (Davis, 1957; Westwood, 1978) que florecerían en el ciclo productivo 2016.

En el ciclo productivo 2016, la medición de los flujos vegetativos comenzó el 7 de marzo, una vez que éstos tenían una forma definida y alargada, y longitud aproximada de 1.5 cm. Sin embargo, el crecimiento de los flujos inició a partir del 11 de marzo.

El 7 de abril el crecimiento relativo alcanzó un porcentaje de 10.6%, y del 7 de abril al 22 de junio, los flujos vegetativos alcanzaron un crecimiento relativo acumulado del 99.1 % con respecto al total de crecimiento alcanzado al día 4 de agosto (Figura 32), día en que posiblemente comenzó nuevamente la determinación del meristemo floral (Davis, 1957; Westwood, 1978). Un factor importante para el inicio de la determinación de yemas florales en la mayoría de las especies frutales leñosas, es que las hojas próximas a la yema estén maduras (Davis, 1957; Westwood, 1978), hecho sucedido en la presente investigación.

Estas tendencias de crecimiento en 2016 coincidieron, como en 2015, con lo reportado por Taiz y Zeiger (2006) en lo referente a intensidades de crecimiento bien definidas según las estaciones del año. El crecimiento de los flujos en 2016 fue determinado en medida considerable por el clima, manejo del cultivo y volumen de la cosecha anterior (Salazar, 2010).

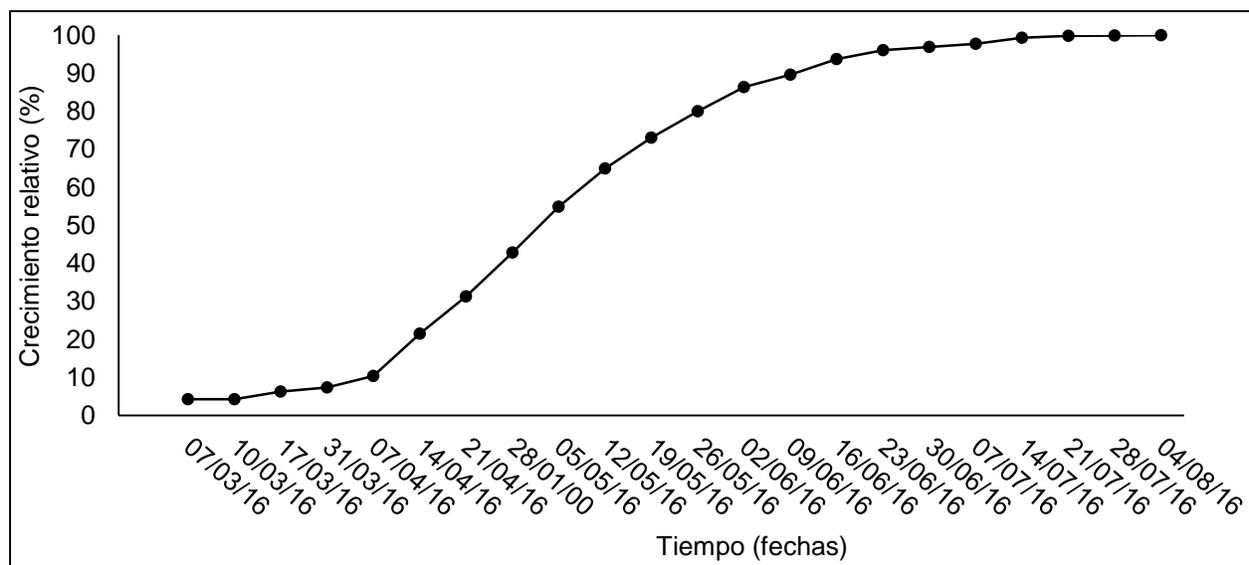


Figura 32. Crecimiento vegetativo (flujos) en el ciclo productivo 2016.

De acuerdo al crecimiento vegetativo ilustrado en la Figura 32, puede suponerse que cuando las temperaturas fueron favorables durante la primavera, el almidón almacenado

se desdobló en azúcares disponibles que proporcionaron energía a las yemas para el desarrollo (Ohlendorf, 1991).

Según Chalmers *et. al.*, (1984), la máxima producción de frutos de alta calidad requiere un suplemento hídrico que mitigue la evapotranspiración, particularmente, durante el periodo del crecimiento de frutos; en muchos casos el agua puede ser retenida por influencia del crecimiento del frutos mientras se reduce el crecimiento vegetativo. En este estudio, durante los periodos de crecimiento y desarrollo de frutos en 2015 y 2016 (3 marzo-28 mayo y 24 marzo-10 junio, respectivamente), no se presentó reducción del crecimiento de los flujos vegetativos; mientras tanto, el contenido de humedad suelo, la temperatura ambiental y la radiación fueron las requeridas para el crecimiento vegetativo general.

León (1994) reportó que el crecimiento de los brotes de ciruelo japonés cv. Songold presentó tres alzas significativas durante el periodo de medición, siendo una de ellas más elevada en magnitud. En el cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirobolano, en clima templado de altura, se observó un periodo único y constante de crecimiento de flujos vegetativos.

Haber observado grandes porcentajes de crecimiento en flujos vegetativos durante los ciclos productivos 2015 y 2106 fue importante, porque el crecimiento y desarrollo de los primordios foliares, así como la diferenciación de yemas axilares, se produce a medida que el meristemo apical progresa (Agustí, 2004), hecho particularmente importante debido a que estos flujos son importantes para la floración y cosecha por la producción de follaje (Salazar, 2010).

El crecimiento vegetativo se debió, entre otros factores, a la contribución que el ciclo interno del nitrógeno hizo para el metabolismo en la época de crecimiento, dependiente en mayor medida del nitrógeno almacenado en los órganos perennes durante el invierno inmediato anterior (Millard y Proe 1991, Neilsen *et al.* 1997), así como por el suministro de nitrógeno generado en la primavera (Millard, 1997). La duración exacta de este

crecimiento dependió, según Ohlenfor (1991), de la variedad, región de cultivo y temperatura de exposición de los árboles.

La detención de la elongación de los flujos vegetativos en ambos ciclos productivos, estuvo altamente asociada a la disminución del contenido de nitrógeno en hojas (ver apartado de análisis de correlación). Esta asociación fue reportada por Chandler (1957), quien afirmó que la acumulación de carbohidratos, concomitante a la disminución de nitrógeno interno, sugiere la detención del crecimiento vegetativo.

Además del nitrógeno, la energía calorífica es importante para el crecimiento longitudinal de los flujos vegetativos. El régimen térmico, cantidad de calor disponible para el crecimiento y desarrollo durante un período determinado, fue cuantificado por medio de la temperatura media diaria durante el periodo de crecimiento (FAO, 1997) y la Tb del cultivo. Los regímenes térmicos durante el monitoreo del crecimiento vegetativo registrado en los ciclos productivos 2015 y 2016, fueron 1042.05 y 1711.8 Unidades Calor, respectivamente, y representaron la cantidad de energía calorífica que permitió el constante y considerable crecimiento vegetativo de los árboles, con tendencia exponencial para el último lapso de crecimiento en 2015 y sigmoide para el periodo completo de crecimiento en 2016.

No fueron realizados riegos y fertilizaciones nitrogenadas excesivas, podas severas y aplicación de reguladores de crecimiento, ya que según Garza (1982), citado por Almaguer (1998), estas prácticas propician crecimiento vegetativo excesivo, que puede producir inhibición floral. Tampoco fue realizada aplicación de compuestos químicos retardantes del crecimiento, ni hubo sometimiento a estrés hídrico de los árboles, prácticas que estimulan la diferenciación floral en detrimento del crecimiento vegetativo (Jackson y Sweet, 1972). Lo anterior con la finalidad de estudiar un crecimiento vegetativo de expresión natural y lograr el correcto estudio fenológico de la fase fenológica en discusión.

Chalmers *et. al.*, (1984) resaltaron la importancia del conocimiento del hábito de crecimiento de cada cultivo frutícola; queda conocido, en este apartado, el hábito de crecimiento del cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirobolano en climas templados de altura.

4.2.2 Densidad y acumulación del crecimiento radical

De acuerdo con Becerril *et. al.* (2009), el sistema radical requiere de un manejo específico sustentable que, además de preservar la calidad del ambiente, asegure las mejores condiciones para el desarrollo vegetal. Por lo anterior, fue importante conocer las tendencias de la densidad y acumulación de crecimiento radical durante un ciclo ontogénico completo.

En los nueve muestreos radicales realizados de septiembre de 2015 a agosto de 2016, fueron obtenidas las densidades y acumulaciones de crecimiento radical del ciruelo Mirobolano (*Prunus cerasifera*) injertado con ciruelo japonés (*Punus salicina*) cultivar Methley. Siempre fue observada la presencia de raíces de crecimiento, nutrición, intermedias y conductoras, que según Kolesnikov (1971), componen un sistema radical. Este tipo de raíces en conjunto desempeñan funciones tales como: absorción hídrica y nutrimental, conducción, almacenamiento de reservas, síntesis de sustancias, propagación asexual, fijación o anclaje y crecimiento. Este último condicionado principalmente por la temperatura, humedad aprovechable y concentración de oxígeno en el suelo (Becerril *et. al.*, 2009). Haber hallado en todos los muestreos los cuatro tipos de raíces, supone la realización permanente de todas las funciones radicales de los árboles, condición fisiológica que fue benéfica para la fisiología y fenología general de los árboles del huerto.

Según Ley (1994), las raíces de especies frutales de clima templado requieren de temperatura mínima de 7°, óptima de 23-25° y máxima de 32°C para crecer, así como una humedad aprovechable situada entre capacidad de campo (-0.03 MPa) y punto de marchitamiento temporal (-0.7 MPa). De acuerdo a Becerril, *et. al.* (2009) el sistema radical de los frutales caducifolios requiere una concentración de oxígeno mayor de 8%,

ya que su crecimiento se detiene a concentraciones $\leq 5\%$. En ciruelo, Tanaka (1937), citado por Kolesnikov (1971), observó que el sistema radical reiniciaba su crecimiento cuando en el suelo había temperaturas de 4-5°C por lo menos.

De los 0 a 50 cm de profundidad durante los doce meses de estudio radical, permanentemente hubo temperaturas superiores a 4-5°C e inferiores a 32°C. En días de verano, las temperaturas mínimas diarias del suelo a profundidades 0-25 y 26-50 cm fueron de entre 19 y 20°C aproximadamente, y las temperaturas máximas diarias en ambas profundidades fueron cercanas a 23°C, es decir, cercanas a su temperatura óptima. El contenido de humedad en el suelo, permanentemente estuvo situado entre C.C. (0.358 y 0.335 m³/m³ a los 0-25 y 26-50 cm de profundidad, respectivamente) y punto de marchitez permanente. Aunque la concentración de oxígeno no fue monitoreada, la textura arenosa del suelo, el registro del contenido de humedad y riegos controlados, seguramente pudieron haber propiciado ausencia de saturación hídrica del espacio poroso, así como concentraciones de oxígeno mayores a 5 u 8%. Estas condiciones térmicas, hídricas y de oxigenación del suelo, además de las condiciones internas de los árboles, permitieron la acumulación permanente y muy probablemente constante de materia radical durante el tiempo de estudio (Cuadro 2).

Se sabe que la densidad radical puede ser modificada por características fisicoquímicas del sustrato como textura, fertilidad, pH y compactación, así como por el manejo del suelo (Gutiérrez *et. al.*, 2006), prácticas culturales y reacciones alelopáticas (Yadava y Doud, 1980). Las densidades radicales mostradas en el cuadro anterior fueron afectadas por las siguientes características del suelo: textura Migajón Arenosa, color “Pardo” en seco y “Gris Muy Oscuro” en húmedo, contenido de Materia Orgánica (1.95%), pH (6.67 y 6.69 a 0-25 y 26-50 cm de profundidad, respectivamente) y Porosidad Total. De igual manera, el manejo de coberteras orgánicas y prácticas culturales como riegos, deshierbes y fertilizaciones, junto a posibles reacciones alelopáticas con malezas del huerto tales como *Rumex crispus*, *Chenopodium álbum*, *Amaranthus hybridus*, etc., influyeron en la densidad radical.

Cuadro 2. Densidad radical de septiembre de 2015 a agosto de 2016 (Raíces de crecimiento y nutrición a los 0-25 cm de profundidad (CN 0-25); raíces de crecimiento y nutrición a los 25-50 cm de profundidad (CN 25-50); raíces intermedias y conductoras a los 0-25 cm de profundidad (IC 0-25); y raíces intermedias y conductoras a los 25-50 cm de profundidad (IC 25-50)).

Densidad radical (g 330cm⁻³)				
Fecha	CN 0-25	CN 25-50	IC 0-25	IC 25-50
21/09/15	0.199	0.031	1.735	0.415
26/10/15	0.143	0.264	1.642	0.939
27/11/15	1.286	0.173	2.706	2.845
28/12/15	0.682	0.09	2.421	2.938
18/02/16	1.479	0.658	1.592	1.655
21/03/16	0.56	0.046	1.399	1.569
6/06/16	0.877	0.169	0.517	0.714
11/07/16	1.422	0.48	0.59	1.496
4/08/16	1.161	0.454	0.357	0.988

En cuando a diferencias de densidad radical en función de la localización espacial de esta biomasa en el suelo, Gutiérrez *et. al.* (2006), comentaron que la mayor densidad radical en especies frutales normalmente se observa entre los 10 y 90 cm de profundidad y entre los 30 cm y 3 m de distancia al tallo principal (dependiendo del tamaño de la especie). Este hecho fue observado en la presente investigación al encontrar raíces sólo hasta los 50 cm de profundidad.

Debido a que las raíces del árbol de ciruelo tienden a la superficialidad (Agustí, 2004) y su desarrollo requiere al menos 40-50 cm de profundidad de suelo (Silva y Alonso, 1976), mediante la realización de un análisis estadístico de comparación de medias, fueron encontradas diferencias significativas entre densidades radicales a 0-25 y 26-50 cm de profundidad; ambas a 40 cm de distancia horizontal al tronco.

Con excepción de febrero y marzo, fechas en que ocurrió el hinchamiento de yemas y plena floración, respectivamente, las raíces de crecimiento y nutrición mostraron diferencias significativas en sus densidades en ambas profundidades del suelo. Lo anterior, probablemente debido a que la distribución y disponibilidad de agua y nutrimentos en el medio variaron en el tiempo y espacio (Hodge, 2006) durante la mayor parte del año de estudio, y no lo hicieron en aquellos meses en que las densidades fueron similares en ambas profundidades (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diferencias de las densidades radicales en función de la profundidad del suelo. Se muestran dos grupos de raíces, crecimiento y nutrición e intermedias y conductoras, ambos a profundidades 0-25 y 25-50 cm y a 40 cm de distancia horizontal al tronco.

Densidad radical (g 330cm⁻³)				
Fecha	CN 0-25	CN 25-50	IC 0-25	IC 25-50
21/09/15	0.199 a ^z	0.031 b	1.735 a	0.415 b
26/10/15	0.143 a	0.264 a	1.642 a	0.939 a
27/11/15	1.286 a	0.173 b	2.706 a	2.845 a
28/12/15	0.747 a	0.09 b	2.421 a	2.938 a
18/02/16	1.479 a	0.658 a	1.592 a	1.655 a
21/03/16	0.56 a	0.046 a	1.399 a	1.569 a
6/06/16	0.877 a	0.169 b	0.517 a	0.714 a
11/07/16	1.422 a	0.48 b	0.59 a	1.496 a
4/08/16	1.161a	0.454a	0.357a	.988a

CN 0-25= Raíces de crecimiento y nutrición a los 0-25 cm de profundidad; CN 25-50= raíces de crecimiento y nutrición a los 25-50 cm de profundidad; IC 0-25= raíces intermedias y conductoras a los 0-25 cm de profundidad; IC 25-50= raíces intermedias y conductoras a los 25-50 cm de profundidad. De cada uno de los dos grupo de raíces, CN e IC, en las dos profundidades de interés, 0-25 y 26-50cm. ^zMedias valores con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey (P=0.05).

Las mayores densidades radicales a la menor profundidad de ambos grupos de raíces, probablemente se debieron a la adaptación de la arquitectura del sistema radical vegetal al medio a través de la generación y elongación de raíces laterales como estrategia de supervivencia, siendo organismos sésiles que habitan con condiciones nutricionales cambiantes (Malamy, 2005). Dada la propagación por varetas de los portainjertos, el origen adventicio del sistema radical de los árboles pudo ser otro factor de influencia en la mayor densidad radical de raíces de crecimiento y nutrición a los 0-25 cm de profundidad, pues las raíces postembriónicas o adventicias fueron desarrolladas de ejes aéreos y constituyen la parte principal del sistema radical fibroso (Barlow, 1986).

Se sabe que la formación estimulada de raíces adventicias permite a la planta proliferar por medio de una propagación vegetativa (Geiss *et. al.*, 2009), produciendo difusos sistemas radicales adventicios con la particular función de explorar y explotar nichos de humus encontrados en la superficie del suelo, así como servir para reforzar el tallo o tronco mediante la fusión de ambos y formar pilares que soportan el desarrollo horizontal de ramas aéreas y formar cajas protectoras alrededor del tronco (Rebouillat *et. al.*, 2009).

En lo relativo a raíces intermedias y de conducción a los 0-25 y 26-50 cm de profundidad, sólo en septiembre, dos días antes del inicio de ecoletargo, hubo diferencias significativas en las densidades radicales de este grupo de raíces en ambas profundidades. La mayor densidad radical de estos dos tipos de raíces a los 0-25 cm de profundidad, en septiembre, pudo ser de particular importancia nutricional previo al letargo, esto si se considera que en las especies leñosas, la mayor parte del sistema radical consta de raíces viejas muy suberificadas, y que gran parte del agua absorbida por parte de estas raíces penetra a través de las numerosas fisuras que se originan en la peridermis y la filodermis que rodea al sistema vascular secundario (Azcón-Bieto y Talón 2000). Esta agua absorbida por raíces suberificadas previa al ecoletargo, muy probablemente fue una importante fuente de agua para el mantenimiento de la columna de interna hídrica en las ramas durante letargo.

Haber detectado similares densidades de raíces con crecimiento secundario en ambas profundidades, implica la existencia igualada de órganos subterráneos cuya suberina de las paredes celulares ejerce gran influencia sobre la obtención de agua e iones, así como protección contra estreses ambientales y patógenos (Enstone *et. al.*, 2003). El crecimiento secundario, propio de raíces intermedias y conductoras, es esencial para el desarrollo de los árboles; y pudo corroborarse que ambos crecimientos (primario y secundario) radicales pueden ocurrir al mismo tiempo en diferentes lugares de la planta (Eshel y Beeckman, 2013).

En general, fueron observadas densidades radicales significativamente mayores en los primeros 25 cm de profundidad del suelo, y no fue encontrada materia radical a profundidades mayores a medio metro durante los muestreos. Lo anterior, aunado al que los patrones de uso más generalizado en el cultivo de ciruelo japonés tienen un sistema radical de tipo superficial no mayor a los 40-50 cm de profundidad (Silva y Alonso , 1976), permite afirmar que en suelos migajón arenosos junto a climas templados de altura, los patrones de *P. cerasifera* injertados con *P. salicina* cv. Methley, emiten raíces con longitud menor a 50 cm de profundidad. Este es un conocimiento de importancia considerable para labores culturales tales como, subsoleo, fertilización y riegos.

En lo concerniente a raíces de crecimiento y nutrición a 0-25 cm de profundidad, durante endoletargo (27/11/15) se hallaron las raíces con mayor proporción de materia seca (Cuadro 4), y las de menor proporción de materia seca se encontraron mientras terminaba el crecimiento y desarrollo de frutos (6/06/16). Esta tendencia fue debida al vigor del patrón, así como a cambios en las relaciones de partición de biomasa a hojas, tallos, raíces (Ovando *et. al.*, 1993) y frutos.

Una importante proporción de materia seca fue hallada durante hinchamiento de yemas (18/02/2016) y abscisión foliar (11/07/2016), éste último acontecimiento similar al hallado por Ryugo (1988) y Shaw (1998), quienes reportaron un flujo de crecimiento radical bien

definido previo a la caída de hojas, coincidente con la disminución de actividad de la parte aérea durante el otoño. Estas observaciones indican que la síntesis o almacenamiento de materia seca en raíces de ciruelo Mirobolano, es afectada positivamente por una disminución de la actividad del injerto, ya que, además, la menor proporción de materia seca radical fue registrada durante el crecimiento y desarrollo de frutos (6/06/2016).

Cuadro 4. Proporciones “peso fresco: peso seco” de raíces de crecimiento y de nutrición a 0-25 cm de profundidad de septiembre 2015 a agosto de 2016.

Fecha	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Proporción peso fresco: peso seco	% de materia seca	% medio de materia seca
21/09/15	0.61	0.199	3.065	32.62	41.28
26/10/15	0.423	0.143	2.958	33.8	
27/11/15	2.123	1.286	1.65	60.57	
28/12/15	2.333	0.747	3.123	32.01	
18/02/16	2.736	1.479	1.849	54.05	
21/03/16	1.916	0.56	3.421	29.22	
6/06/16	3.131	0.877	3.57	28.01	
11/07/16	2.854	1.422	2.007	49.82	
4/08/16	2.257	1.161	1.944	51.43	

En lo relativo a raíces de crecimiento y nutrición a 26-50 cm de profundidad (Cuadro 5), a inicio de ecoletargo (21/09/15) y durante hinchamiento de yemas (18/02/16), fueron encontrados las mayores proporciones de materia seca; Ryugo (1988) y Shaw (1998) también reportaron que un flujo de crecimiento radical bien definido se da previo a la brotación de yemas.

Una de las proporciones más bajas de materia seca se halló en pleno endoletargo (28/12/15). Posiblemente, el grado de letargo de los árboles provocó que el sistema

radical más subterráneo disminuyera considerablemente su almacenamiento o síntesis de materia seca. Una proporción de materia seca igualmente baja se observó durante crecimiento y desarrollo de frutos, lo que supone un gasto considerable de reservas y nutrimentos de raíces previo al día mencionado.

Durante floración no fueron halladas las mayores cantidades de materia seca radical, hecho que y Ryugo (1988) y Shaw (1998) reportaron para todo tipo de frutal, por lo que es importante destacar la influencia de la floración sobre la disminución de materia seca radical en los genotipos estudiados.

La proporción promedio de materia seca de raíces de crecimiento y nutrición a los 26-50 cm de profundidad, fue mayor que la proporción media del mismo tipo de raíces a la profundidad más superflua. Probablemente se debió a una mayor cantidad de agua en la parte más superficial del suelo, lo que propició un mayor contenido o proporción de agua en las raíces más cercanas a la superficie.

Cuadro 5. Proporciones “peso fresco: peso seco” de raíces de crecimiento y de nutrición a 26-50 cm de profundidad de septiembre 2015 a agosto de 2016.

Fecha	Peso fresco	Peso seco	Proporción peso fresco: peso seco	% de materia seca	% medio de materia seca
21/09/15	0.048	0.031	1.548	64.5	49.01
26/10/15	0.554	0.264	2.101	47.5	
27/11/15	0.372	0.173	2.15	46.5	
28/12/15	0.432	0.09	4.773	20.9	
18/02/16	0.836	0.658	1.271	78.66	
21/03/16	0.103	0.046	2.246	44.5	
6/06/16	0.506	0.169	2.982	33.5	
11/07/16	1.091	0.48	2.27	44	
4/08/16	0.743	0.454	1.63	61.1	

En lo referente a raíces intermedias y conductoras a 0-25 cm de profundidad (Cuadro 6), las mayores proporciones de materia seca se observaron en endoletargo (27/11/2015) y abscisión foliar (4/08/2016). Salvo el 18 de febrero (hinchamiento de yemas) y el 21 de marzo (plena floración), días con menor cantidad de materia seca radical, hubo similares de materia seca radical durante el resto de fases fenológicas.

Cuadro 6. Proporciones “peso fresco: peso seco” de raíces intermedias y conductoras a 0-25 cm de profundidad de septiembre 2015 a agosto de 2016.

Fecha	Peso fresco	Peso seco	Proporción peso fresco: peso seco	% de materia seca	% medio de materia seca
21/09/15	4.569	1.735	2.633	37.97	41.3
26/10/15	3.709	1.642	2.258	44.27	
27/11/15	5.311	2.706	1.962	50.95	
28/12/15	6.138	2.421	2.535	39.44	
18/02/16	5.514	1.592	3.463	28.87	
21/03/16	3.867	1.399	2.764	36.17	
6/06/16	1.225	0.517	2.369	42.2	
11/07/16	1.435	0.59	2.432	41.11	
4/08/16	0.703	0.357	1.969	50.78	

En el caso de raíces intermedias y conductoras a 26-50 cm de profundidad (Cuadro 7), durante pleno endoletargo (28/12/2015) fue observada la mayor cantidad de materia seca radical. Probablemente esta elevada cantidad de materia seca fue producto del crecimiento secundario de raíces de crecimiento y nutrición generadas al inicio de ecoletargo (21/09/2015), que a su vez fueron las raíces que dieron origen a las raíces de crecimiento y nutrición halladas durante hinchamiento de yemas (18/02/2015) en ambas profundidades, para posteriormente entrar a un estado de letargo que repercutió en una baja cantidad de materia seca de raíces intermedias y conductoras en la siguiente floración.

La menor cantidad de materia seca de raíces intermedias y conductoras a 26-50 cm de profundidad se observó durante hinchamiento de yemas y plena floración, suceso contrario a lo afirmado por Ryugo (1988) y Shaw (1998) quienes mencionaron que independientemente del tipo de frutal uno de los mayores crecimientos de raíz se produce en floración. Durante abscisión foliar la materia seca radical incrementó. Raíces intermedias y conductoras a 26-50 cm de profundidad tuvieron mayor proporción media de materia seca que sus homólogas a menor profundidad.

Cuadro 7. Proporciones “peso fresco: peso seco” de raíces intermedias y conductoras a 26-50 cm de profundidad de septiembre 2015 a agosto de 2016.

Fecha	Peso fresco	Peso seco	Proporción peso fresco: peso seco	% de materia seca	% medio de materia seca
21/09/15	0.931	0.415	2.243	44.57	46.54
26/10/15	1.893	0.939	2.015	49.6	
27/11/15	5.265	2.845	1.85	54.03	
28/12/15	4.445	2.938	1.512	66.09	
18/02/16	4.281	1.655	2.586	38.65	
21/03/16	4.587	1.569	2.923	34.2	
6/06/16	1.619	0.714	2.267	44.1	
11/07/16	3.285	1.496	2.195	45.54	
4/08/16	2.345	0.988	2.373	42.13	

Un fundamento teórico que permite explicar las diferencias de la producción de materia seca radical durante el año, es que la síntesis de materia seca radical se ve determinada por la especie y combinación cultivar-portainjerto (Gutiérrez *et. al.*, 2006), combinación que varía en función del vigor del patrón debido a que el portainjerto cambia las relaciones de partición de biomasa a hojas, tallos y raíces (Ovando *et. al.*, 1993). La acumulación radical fue contrastante durante el tiempo de estudio (Figuras 33-36).

Desde inicio del ecoletargo (21/09/2015) hasta endoletargo (27/11/15), hubo una continua acumulación radical de todo tipo de raíces. En pleno endoletargo (28/12/2015) hubo considerable acumulación de raíces intermedias y conductoras, y las raíces de crecimiento y nutrición habían disminuido su acumulación, para que, posteriormente, durante el hinchamiento de yemas (18/02/2016), presentaran un nuevo incremento de acumulación simultáneo al descenso de acumulación de raíces intermedias y conductoras. Del 21/09/2015 al 18/02/2016 existió la mayor acumulación radical general.

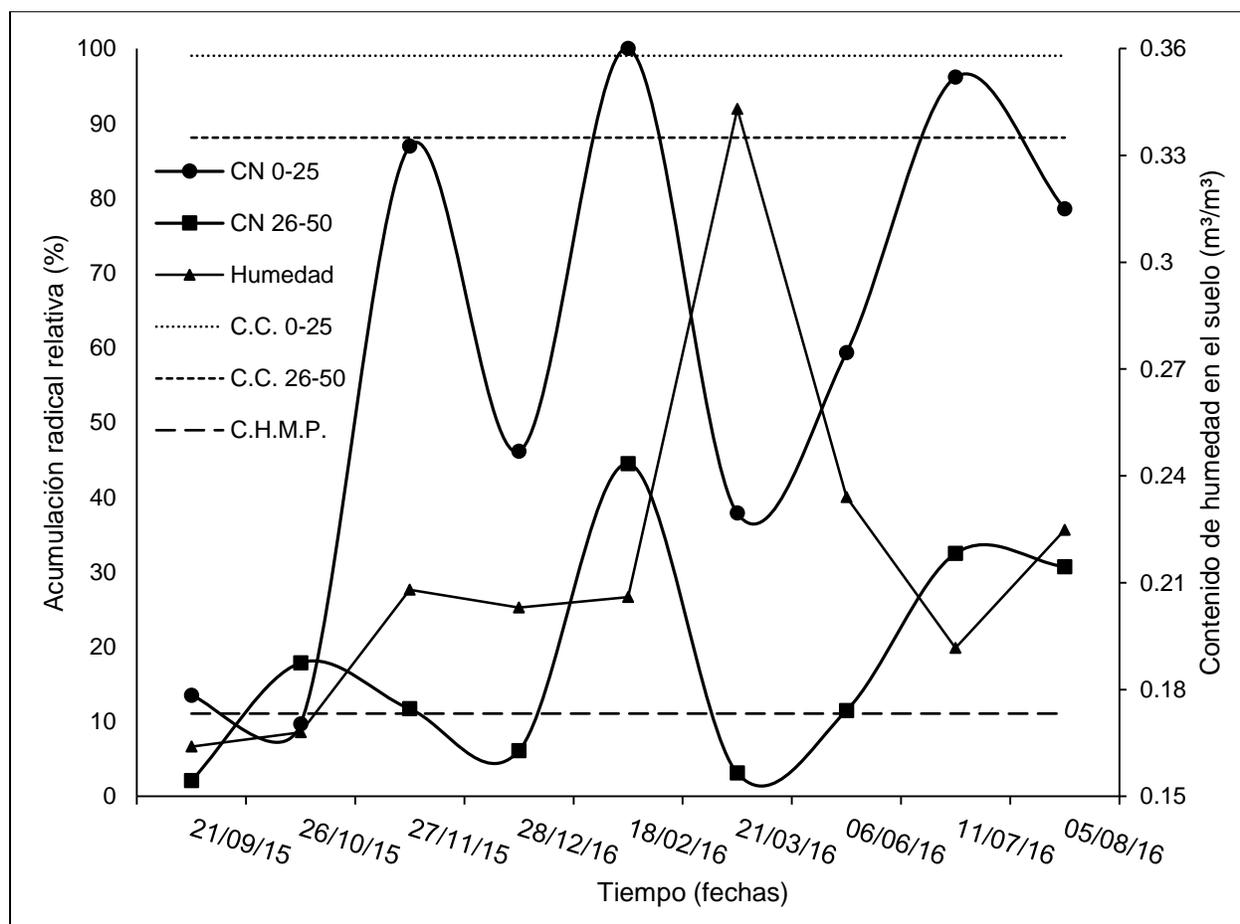


Figura 33. Acumulación de raíces de crecimiento y nutrición y contenido de humedad en el suelo, de septiembre de 2015 a agosto de 2016 (CN 0-25, raíces de crecimiento y nutrición a los 0-25 cm de profundidad; CN 26-50, raíces de crecimiento y nutrición a los 26-50 cm de profundidad; C.C. 0-25, capacidad de campo a los 0-25 cm de profundidad; C.C. 26-50, capacidad de campo a los 26-50 cm de profundidad; C.H.M.P. contenido de humedad mínimo permisible).

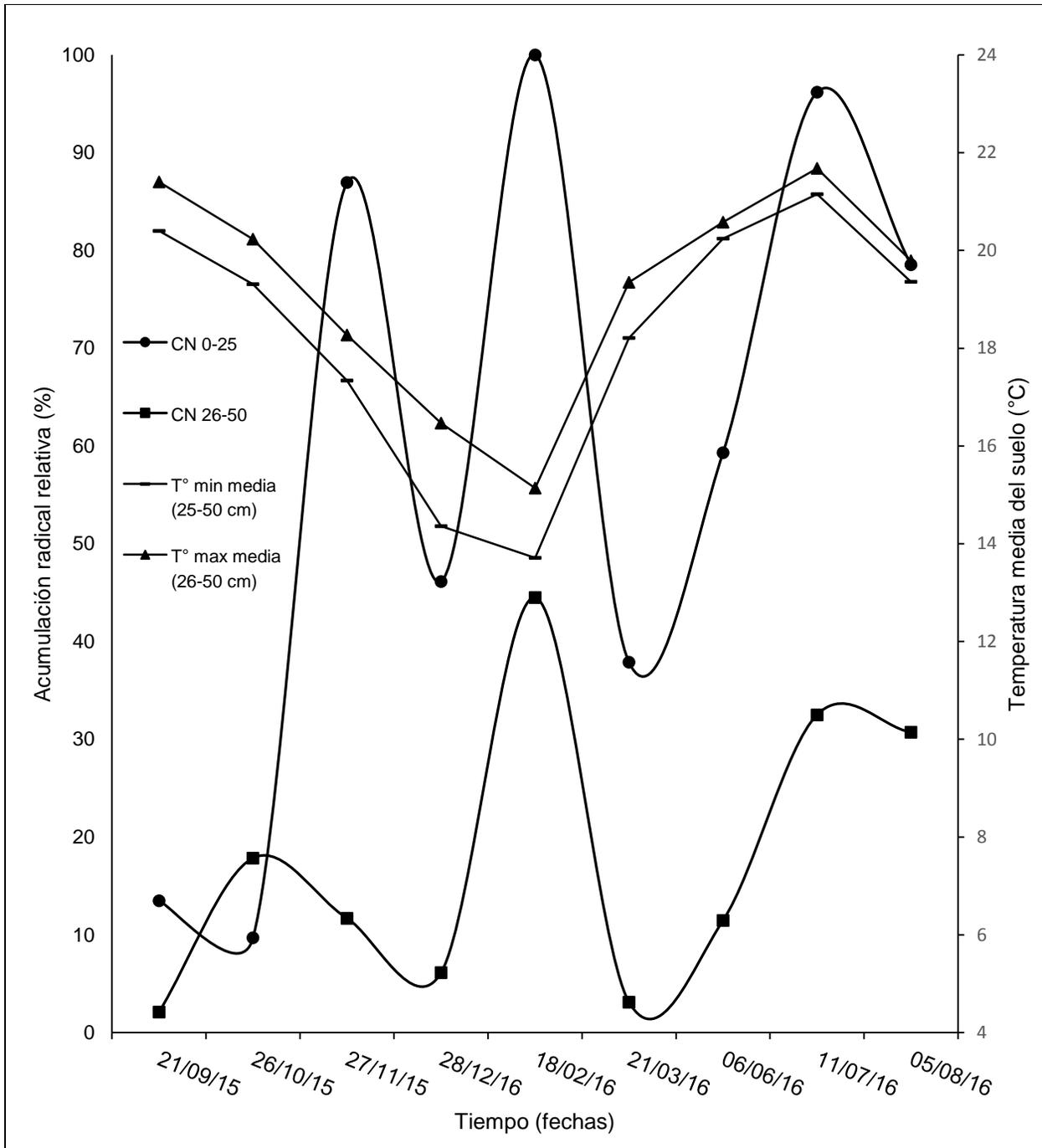


Figura 34. Acumulación de raíces de crecimiento y nutrición y temperatura del suelo, de septiembre de 2015 a agosto de 2016 (CN 0-25, raíces de crecimiento y nutrición a los 0-25 cm de profundidad; CN 26-50, raíces de crecimiento y nutrición a los 26-50 cm de profundidad; T° min media (25-50 cm), temperatura mínima media del suelo a los 25 y 50 cm de profundidad; T° max media (26-50 cm), temperatura máxima media del suelo a los 26 y 50 cm de profundidad).

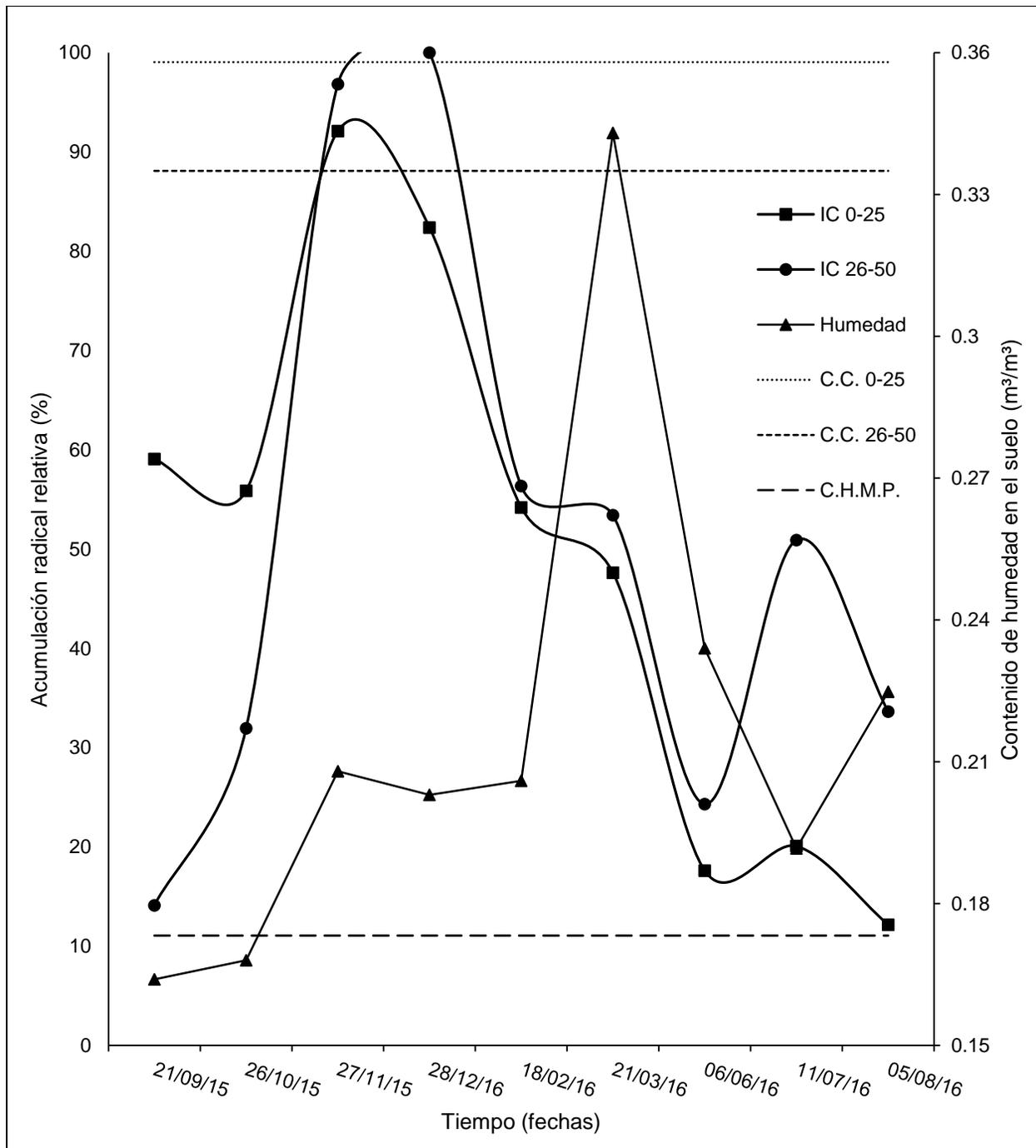


Figura 35. Acumulación de raíces intermedias y conductoras y contenido de humedad en el suelo, de septiembre de 2015 a agosto de 2016 (IC 0-25, raíces intermedias y conductoras a los 0-25 cm de profundidad; IC 26-50, raíces intermedias y conductoras a los 26-50 cm de profundidad; C.C. 0-25, capacidad de campo a los 0-25 cm de profundidad; C.C. 26-50, capacidad de campo a los 26-50 cm de profundidad; C.H.M.P. contenido de humedad mínimo permisible).

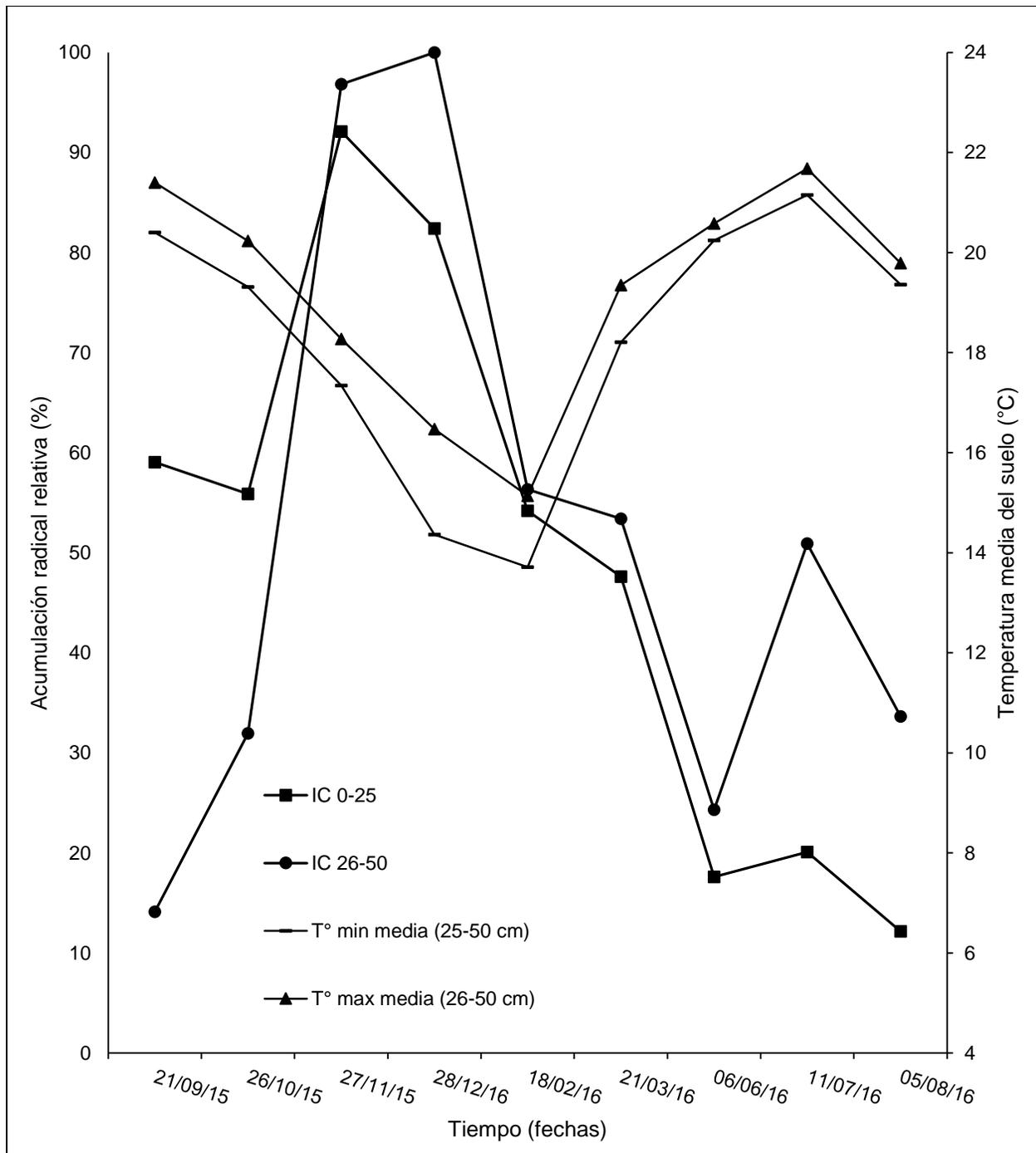


Figura 36. Acumulación de raíces intermedias y conductoras y temperatura del suelo, de septiembre de 2015 a agosto de 2016 (IC 0-25, raíces intermedias y conductoras a los 0-25 cm de profundidad; CN 26-50, raíces intermedias y conductoras a los 26-50 cm de profundidad; T° min media (25-50 cm), temperatura mínima media del suelo a los 25 y 50 cm de profundidad; T° max media (25-50 cm), temperatura máxima media del suelo a los 26 y 50 cm de profundidad).

León (1994), en ciruelo japonés cv. Songold, observó una fuerte interacción entre los crecimientos radical y aéreos, ambos influenciados por las condiciones edafoclimáticas del lugar.

En el presente estudio, la máxima acumulación del crecimiento radical ocurrió mientras los crecimientos vegetativo y reproductivo cesaron y las temperaturas del suelo eran cercanas a la temperatura base de raíz propuesta por Tanaka en 1937 (citado por Kolesnikov, 1971) y lejanas a la temperatura óptima radical señalada por Ley (1994); periodo en que el Contenido de Humedad en el suelo estuvo comprendido entre el C.H.M.P. y C.C., que es el nivel humedad requerido por especies frutales de clima templado según Ley (1994). Lo anterior indica la existencia de una influencia más fuerte por parte del letargo del cultivar sobre la acumulación del crecimiento radical, que la adecuada temperatura y humedad del suelo.

Al momento de la floración (21/02/2016) las raíces de crecimiento y nutrición presentaron, a los 0-25 cm de profundidad, una acumulación baja, y a los 26-50 cm de profundidad una acumulación moderada con respecto de las máximas acumulaciones radicales en sus respectivas profundidades. Sin embargo, la acumulación del crecimiento de raíces intermedias y conductoras fue considerable. En este sentido, Ryugo (1988) y Shaw (1998), señalan que independientemente del tipo de frutal, una de las máximas tasas de crecimiento radical se observa durante floración. Probablemente esta afirmación aplica sólo en casos de raíces intermedias y conductoras de ciruelo Mirobolano injertado con ciruelo japonés cv. Methley.

Durante crecimiento y desarrollo de frutos y hasta madurez de cosecha, hubo un aumento mediano de acumulación de raíces de crecimiento y nutrición, hecho contrario a lo observado en San Felipe, Chile, por León (1994), quien reportó un desarrollo radical de ciruelo japonés muy limitado por el comportamiento del sistema vegetativo y reproductivo, presentando acumulaciones importantes sólo cuando los otros sistemas no muestran tasas de crecimiento o han disminuido.

Shock *et. al.* (1998), aseveraron que las buenas condiciones hídricas en el suelo impactan favorablemente la acumulación del crecimiento radical. El buen contenido de humedad, junto a temperaturas adecuadas del suelo, pudo provocar la permanente acumulación registrada en este estudio. Por su parte, Palmer *et. al.* (1991) comentaron que la proporción de fotoasimilados destinados a las raíces del árbol es menor en medida que estos soportan una carga de frutos mayor, condición observada por medio de la acumulación del crecimiento radical de los árboles estudiados.

El Régimen Térmico del suelo durante el tiempo de estudio tuvo un valor aproximado a 4631.8 Unidades Calor, información que según Snyder (1985), puede ser usada por agricultores para monitorear el desarrollo de procesos biológicos usando operaciones aritméticas simples, remplazando así el uso del tiempo calendario, el cual, según Slafer y Savin (1991) y Mendoza *et. al.*, (2004), ha sido utilizado empíricamente para predecir etapas de crecimiento y desarrollo. Esta acumulación de temperaturas medias diarias por encima de la T_b (Ruiz *et al.*, 2002; López *et. al.*, 2010) fue la cantidad de energía necesaria para llevar a cabo el proceso de desarrollo (Trudgill *et. al.*, 2005) y eventos radicales estudiados y analizados en la presente investigación.

Sabiendo que existen variedades de ciruelo bien adaptadas a diferentes condiciones de suelo (Childers, 1978) y que en terrenos arcillosos y con pH elevado la asfixia radical y la clorosis férrica son factores limitantes del cultivo (Agustí, 2004), el portainjerto Mirobolano injertado con cv. Methley, al ser cultivado en suelo Migajón Arenosos con pH de 6.67-6.69, no padeció problemas relacionados con asfixia radical y clorosis férrica. Esta condición fue favorable para la constante síntesis de materia radical aun cuando transcurrían múltiples fases fenológicas en la parte aérea de los árboles.

La generación constante de materia radical es importante porque las citocininas sintetizadas en raíces muy probablemente llevan información sobre el estatus nutritivo de la raíz, en especial de nutrición del nitrógeno, a la parte aérea de la planta (Sakakibara *et. al.*, 1998; Yong *et. al.*, 2000).

4.2.3 Hinchamiento de yemas

Solamente unas pocas señales ambientales, a menudo muy precisas, son capaces de “activar” una yema en letargo; aunque la yema aletargada o latente no crezca, puede estar en actividad meristemática durante varios momentos del letargo (Raven, *et. al.*, 1992) mientras completa su requerimiento de Unidades Frío, para, posteriormente, esperar temperaturas que permitan su crecimiento.

Concluido el letargo invernal, las yemas permanecen en ecoletargo hasta que las temperaturas ambientales son favorables para el crecimiento Fernández (1988). En los árboles bajo estudio, este crecimiento o hinchamiento de yemas sucedió, en 2015, del 11 de enero al 4 de febrero en yemas reproductivas, y del 11 de enero al 6 de febrero en yemas vegetativas, cuando, una vez satisfechas las necesidades de frío, las yemas aumentaron continuamente de tamaño por acción del calor para posteriormente producir la brotación Fernández (1988). Como lo reportó Tabuenca (1965), las yemas reproductivas de la especie requirieron menor cantidad de Unidades Frío y su brotación fue primero que las yemas vegetativas (Tabuenca, 1965)

Este hinchamiento de yemas es explicado por divisiones celulares que requieren el aporte de carbohidratos para satisfacer los requerimientos energéticos (Martínez-Alcántara *et. al.*, 2015). De ahí la importancia de haber propiciado un correcto manejo de los árboles, procurando mantener condiciones que les permitieran reservar sustancias durante el letargo, para posteriormente lograr una correcta reanudación del crecimiento del ciclo productivo siguiente.

Transcurrido el letargo iniciado en 2015 y finalizado en 2016, en este último año se produjo el hinchamiento de yemas reproductivas del 8 al 29 de febrero, y el de yemas vegetativas del 8 de febrero al 2 de marzo. En el hinchamiento ocurrió una expansión celular provocada por el potencial de turgencia, que es un suministro de sales minerales, agua y materia elaborada (Taiz y Zeiger, 2002).

En 2015 y 2016, el hinchamiento de yemas, además de deberse a factores térmicos, nutricionales y anatómicos, también se debió a la estimulación de la salida del estado de letargo de yemas laterales por acción de citocininas sintetizadas en raíces o localmente, hormonas que accionan en contrarresto de las auxinas, estas últimas, hormonas inhibitoras del crecimiento de yemas laterales (Schmülling, 2002) cuando se acumulan en exceso.

Las yemas reproductivas hinchadas necesitaron una previa determinación del meristemo vegetativo a floral, la cual, es precedida por la detención del crecimiento vegetativo de la planta (Ben-Tal, 1986); esta detención, correspondió a la detención del crecimiento longitudinal de los flujos vegetativos del ciclo vegetativo inmediato anterior al hinchamiento de yemas. El hinchamiento de yemas vegetativas y reproductivas (Figura 37) significó el inicio de los periodos vegetativo y reproductivo, respectivamente, de la especie.



Figura 37. Hinchamiento de yemas vegetativas (izquierda) y reproductivas (derecha).

Los meristemos vegetativos, generalmente con forma de pequeños domos, durante la iniciación floral adquieren una forma aplanada y presentan un ensanchamiento. Es decir, las yemas reproductivas sufren cambios anatómicos y morfológicos concernientes con el tamaño y forma del meristemo durante la iniciación floral (Sedgley, 1987), y en diversas especies se ha encontrado un cambio en el número de capas de túnica al pasar la planta a una condición reproductiva (Buban y Faust, 1982).

4.2.4 Brotación de yemas y crecimiento foliar

Una vez hinchadas las yemas de los árboles de ciruelo, se esperó el registro de la brotación, fase fenológica en la cual el almacenamiento de inhibidores del crecimiento en los catafilos de las yemas es de utilidad (Raven, *et. al.*, 1992), al igual que el balance entre auxinas, citocininas y giberelinas para promover la diferenciación o la división celular (Moubayidin *et. al.*, 2010); y aunque éstas hormonas también regulan la inhibición de la brotación mediante los procesos de dominancia apical (Bangerth *et. al.*, 2000), en 2015, la brotación de yemas florales sucedió del 5 al 17 de febrero, y la brotación de yemas foliares del 8 al 17 de febrero. Al día 5 y 8 de febrero, comenzó la activación de la división celular en el corpus, actividad que requiere del aporte de carbohidratos para satisfacer los requerimientos energéticos (Martínez-Alcántara *et. al.*, 2015) propios de la brotación de yemas. Y aunque los niveles de citocininas durante letargo son muy pequeños en la savia del xilema de los árboles, estos aumentan considerablemente conforme se acerca el momento de la brotación de yemas (Borkowska, 1980), que es la fase previa al inicio de floración y crecimiento foliar y de ramas en árboles.

Además de actividad hormonal, las yemas requieren condiciones térmicas adecuadas para la brotación y el crecimiento y desarrollo (Martínez *et. al.*, 2015); condiciones que en 2016 fueron cumplidas y repercutieron en la brotación de yemas reproductivas y vegetativas durante los siguientes periodos respectivos: 1-10 de marzo y 3-11 de marzo. La brotación de yemas, altamente ligada con la actividad de citocininas, antecede la floración, foliación y al crecimiento de ramas, por lo que el monitoreo y cuidado del desarrollo de estos órganos durante su hinchamiento y brotación es importante. Las

citocininas sintetizadas localmente, son necesarias para liberar a las yemas del estado de reposo (Schmüllig, 2002). La Figura 38 ilustra la brotación de yemas reproductivas y vegetativas de árboles de ciruelo japonés cv. Methley.



Figura 38. Brotación de yemas reproductivas y vegetativas.

La brotación de yemas vegetativas laterales dio lugar al inicio del crecimiento de primordios foliares, y la brotación de yemas vegetativas apicales, además de iniciar el crecimiento de primordios foliares, originó la diferenciación de yemas axilares a medida que el meristemo apical progresaba (Martínez, 2015). Es decir, los primordios foliares aparecen a medida que el meristemo apical avanza, y con el tiempo diferencian el limbo y el peciolo, formando las hojas más jóvenes (Agustí, 2003).

Las buenas condiciones térmicas del sitio fueron importantes para el crecimiento foliar debido a la dependencia que este crecimiento tiene de tres aspectos ligados con la temperatura ambiental, que son: la tasa de formación de primordios foliares en el meristemo apical, la tasa de expansión foliar a partir de la yema apical y la expansión de las nuevas hojas hasta que alcanzan su máximo tamaño (Aspinall, 1986).

La Figura 39 muestra la evolución del área foliar desde quince días antes del inicio abscisión foliar (11/06/15) hasta el día en que todas las hojas de los veinte árboles tenían en sus láminas al menos poca superficie amarilla (13/08/15). El lapso temporal de la disminución de área foliar mostrada en la Figura 39 coincide con las fechas en que el crecimiento de los flujos vegetativos comenzó a ser poco intenso (2/07/15), la intercepción de la Radiación Fotosintéticamente Activa empezó a disminuir considerablemente (19/07/15) y la cantidad de radiación incidente era equivalente a la radiación transmitida (8/09/15). Al 11 de septiembre los árboles estaban a 10 días de finalizar la abscisión foliar, de manera que la RFAi era nula y casi la totalidad de radiación solar incidente pasaba a ser radiación transmitida.

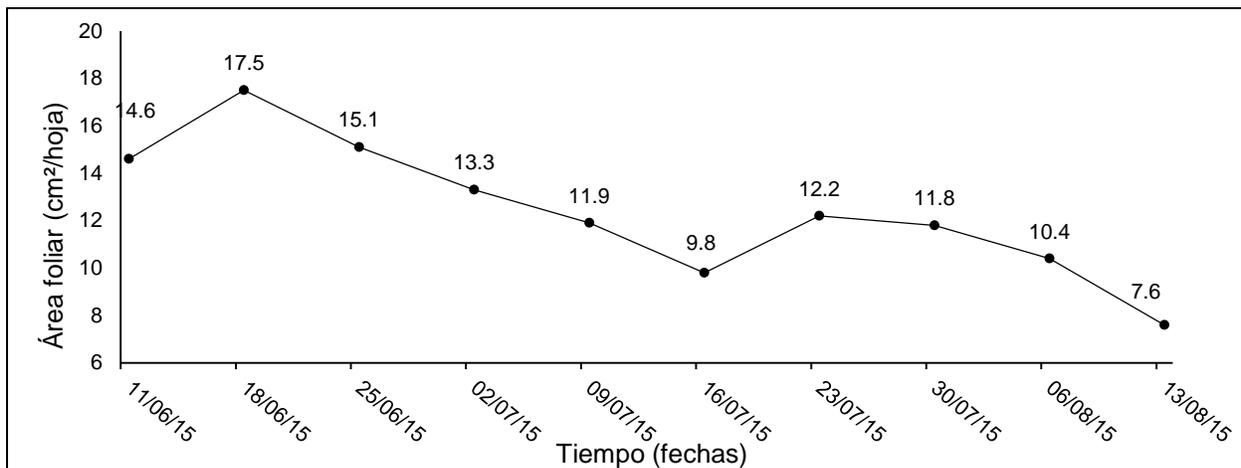


Figura 39. Evolución del área foliar del 11 de junio al 13 de agosto de 2015.

Esta disminución del área foliar, fue afectada también por una infección de roya registrada previo a letargo y por la edad de las hojas en cumplimiento de su tiempo de vida en el ciclo productivo 2015. Al ser hojas con un estado de desarrollo avanzado, la decadencia de los procesos fisiológicos de estos órganos fue importante en la afección de procesos fisiológicos generales en los árboles (Horsley y Gottschalk, 1993; Chaumont *et. al.*, 1994). Durante esta disminución del área foliar ocurrió crecimiento vegetativo (flujos), acumulación del crecimiento radical e iniciaba la abscisión foliar. La concomitante

reducción de área foliar, el inicio de flujo reverso y la disminución general del crecimiento y funcionamiento vegetal aéreo, presidió la entrada a ecoletargo de los árboles, tiempo en que el sistema radical comenzaría su máxima acumulación de crecimiento.

Durante el registro del crecimiento foliar, en 2015, hubo un régimen térmico de 859.15 Unidades Calor, pero, desde el momento de brotación de yemas foliares (8 de febrero) hasta el día de máxima área foliar (18 de junio), se acumularon 1636.61 U.C., y del 19 de junio al 13 de agosto (día de menor área foliar) fueron acumuladas 760.15 U.C.

Debido a que durante las primeras semanas de su desarrollo, las hojas necesitan reservas del árbol porque no elaboran lo que demandan (Ramírez, 1991), en 2016 el monitoreo del crecimiento foliar inició el 25 de marzo. Esto fue con la finalidad de permitir el suficiente desarrollo de las hojas nuevas y estudiar únicamente hojas maduras y fotosintéticamente activas, que son la fuente de abastecimiento de nutrientes para la floración y el desarrollo y amarre de frutos, por lo que es necesario conservar las hojas del año (Ramírez, 1991). La figura 40 muestra la evolución del crecimiento foliar durante el ciclo productivo 2016.

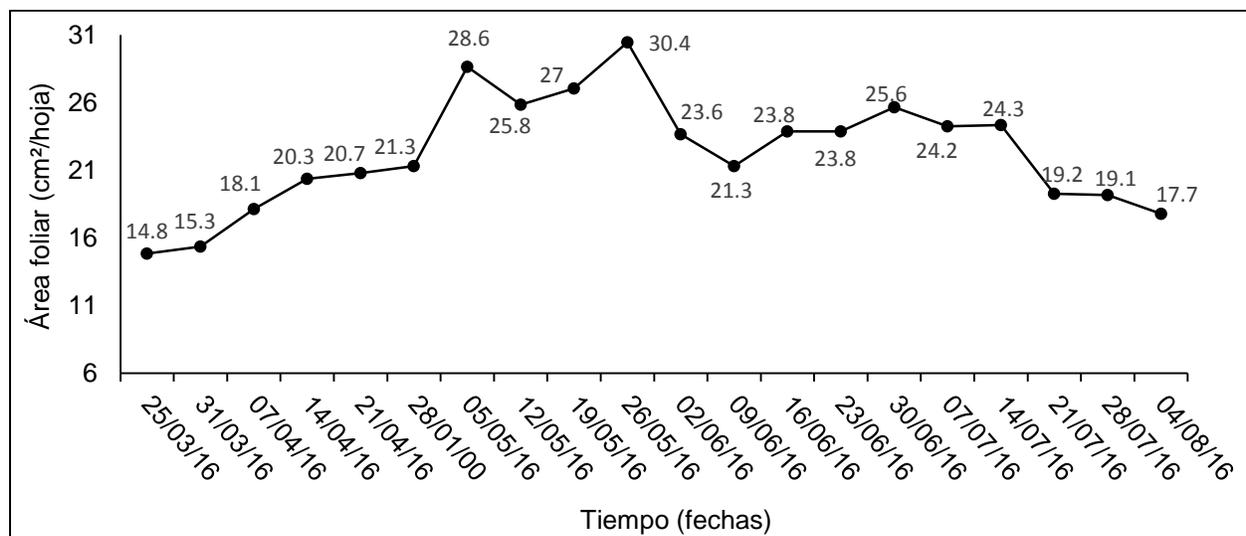


Figura 40. Evolución del área foliar durante el periodo de crecimiento y desarrollo vegetativo y reproductivo del ciclo productivo 2016.

El día 1 de abril se inicia el incremento del crecimiento foliar de hojas maduras, ya antes había sucedido la floración en su totalidad y desde siete días antes comenzaba el periodo de crecimiento y desarrollo de frutos. Lo anterior indica que, además de la total dependencia que el hinchamiento y brotación de yemas y el inicio del crecimiento foliar hacen de reservas nutrimentales almacenadas en raíces y ramas de árboles, la floración también depende totalmente de las reservas de órganos permanentes. Es posible también una parcial dependencia que el inicio del crecimiento de frutos tiene de estas reservas.

Como antecedentes similares de esta observación, se encuentran los reportes de Muñoz *et al.* (1993) y Millard (1995), donde comentaron que en cierta medida la floración depende, al igual que el crecimiento vegetativo, de la movilización del nitrógeno almacenado en los órganos perennes, debido a la contribución que el ciclo interno del nitrógeno hace al metabolismo (Millard y Proe 1991; Neilsen *et al.* 1997). Sin embargo, la presente investigación aporta alguna evidencia que la floración puede depender en mayor medida del nitrógeno almacenado en órganos perennes.

A estas fechas de abril, la acumulación de raíces de crecimiento y nutrición iba en aumento y la acumulación de raíces intermedias y conductoras disminuía. Posiblemente, existe una coordinación del crecimiento, entre el primer tipo de raíces mencionado con el crecimiento foliar, en la realización simultánea de absorción de nutrimentos y fotoelaboración de sustancias nutritivas. La detención de la acumulación del crecimiento radical del segundo grupo de raíces mencionado, puede estar relacionado con la espera de recepción de sustancias fotoelaboradas (que serán sintetizadas por las hojas maduras) y su almacenamiento para una posterior utilización en las fases de reanudación del crecimiento del ciclo productivo siguiente.

Por lo anterior, el área foliar alcanzada durante ciertos estadios específicos del desarrollo, es un factor fisiológico indispensable para cubrir demandas fotosintéticas que el resto de los órganos vegetales ejercen para lograr crecer y desarrollar (Warnock, *et*

al., 2006). En este contexto, se tiene que del 2 al 29 de abril, fechas de crecimiento del área foliar, se llevó completamente a cabo la etapa 1 del crecimiento y desarrollo de frutos y parte de la fase 2 de crecimiento y desarrollo de estos órganos, los flujos vegetativos también crecían y las tendencias de acumulación radical seguían siendo similares para los cuatro tipos de raíces.

Los días 6 y 27 de mayo se presentaron las áreas foliares más grandes, fechas en las que ocurría la última parte de la segunda etapa del crecimiento y desarrollo de frutos, así como el término de crecimiento y desarrollo e inicio de madurez fisiológica de los frutos más longevos. Según Fishler *et. al.* (1983), lo anterior implica una relación espacial entre hojas y frutos, y múltiples relaciones que el área foliar hace como factor determinante de la forma de los frutos, aunado a que la actividad fotosintética de las hojas no es constante.

Del 28 de mayo al 10 de junio inicia un descenso del área foliar, tiempo en que se completaba la madurez fisiológica de todos los frutos y estaba en marcha la madurez de cosecha, para, posteriormente, tener una área foliar constante durante el resto del crecimiento de flujos vegetativos.

El mantenimiento, más o menos constante, del tamaño de área foliar, fue importante debido a que la magnitud del AF define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (Warnock, *et. al.*, 2006), y, aunque dentro de una misma especie los diferentes cultivares pueden exhibir variaciones significativas en su capacidad para interceptar la radiación solar debido a la máxima magnitud del AF alcanzable, el arreglo espacial de las hojas, la evolución de los estadios fenológicos y los cambios fisiológicos y morfológicos por los que atraviesa la planta durante su ciclo ontogenético (Boote *et. al.*, 2001; White, 1985), las hojas de los árboles de ciruelo fueron de buen tamaño y propiciaron un crecimiento correcto de órganos.

Desde brotación foliar, el régimen térmico al que estuvieron sometidas las hojas durante el ciclo 2016 fue de 2342.6 Unidades Calor.

4.2.5. Floración

Según los datos obtenidos en el presente estudio, la floración del ciruelo japonés cv. Methley es dependiente en sustancial medida del nitrógeno almacenado en órganos perennes, debido a la contribución que el ciclo interno de este elemento hace para el metabolismo (Millard y Proe 1991; Neilsen *et. al.*, 1997); en los ciclos productivos 2015 y 2016 se observaron abundantes floraciones producidas principalmente a partir de ramas compactas y de un año de edad, además, las floraciones fueron tempranas. Ambas características de las floraciones fueron reportadas por Childers (1978), donde la floración temprana implicó la elongación del fotoperiodo o días más largos previo a esta fase (de Fina y Ravello, 1973).

Los datos anteriores muestran la influencia combinada de una constante térmica y la duración del día para que se produzca la floración. En este caso de estudio, se requirió la acumulación de ciertas temperaturas en combinación con una mayor duración del día, requerimiento dual conocido como índice heliométrico, de acuerdo a, de Fina y Ravello, (1973).

Con base en la escala de Bellini y Bini (1978) para la identificación de las fases de la floración, fueron calculados los GDD del inicio, fin y plena floración, dando como resultados respectivos en 2015, 57.25, 127.45 y 58.4, y en 2016, 51.35, 131.95 y 59.75. Estos valores térmicos, son similares a los encontrados por Tabuenca y Herrero (1966) para el caso de plena floración, teniendo 140 GDD como media de los cultivares de la especie de ciruelo japonés.

Las Figuras 41 y 42 muestran las tres fases de floración en 2015 y 2016, respectivamente.



Figura 41. Inicio, plena y fin de floración del ciclo productivo 2015.

El cálculo de GDD anterior, es más exacto y sofisticado que el reporte realizado por Bustamante (1987), en el que, con base en tiempo calendario, aseveró que el proceso de formación de flores en ciruelo japonés cv. 'Methley' reporta un intervalo de cien días. De acuerdo con la clasificación de los cultivares de ciruelo japonés realizada por Bellini y Bini (1978), con base en la duración de la floración, el cultivar Methley queda ahora clasificado como un material con floración de periodo largo, correspondiente a una duración de 15 a 20 días, porque, en 2015 y 2016 ambas floraciones tuvieron duraciones respectivas del 18 de febrero al 9 de marzo y del 11 al 30 de marzo.



Figura 42. Inicio, plena y fin de floración del ciclo productivo 2016.

Cabe mencionar que esta duración de la floración pudo ser afectada por la insolación (Tabuenca, 1965), vientos, temperatura, altitud y latitud (Bellini y Bini, 1978), tipo de suelo (Westwood, 1978) y precipitación (Tabuenca, 1965).

Relativo al segundo factor de afección a la duración de la floración, en marzo de 2016 hubo una tormenta invernal que provocó fuertes vientos del 7 al 11 de marzo. El último día y de acuerdo con la escala anemométrica de Beaufort, hubo ráfagas con valor escalar 6 ($39-49 \text{ km h}^{-1}$), descritas como capaces de mover las ramas de los árboles y generar dificultad para mantener abierto el paraguas. Sin embargo, el buen estado de salud de los árboles, así como su excelente integridad física, pudieron ser factores que evitaron el desprendimiento de flores por acción del viento, provocando una floración abundante. En días posteriores se registraron vientos con valor escalar de 5 o menores, capaces sólo de mover levemente ramas de árboles, condición normal en huertos frutícolas.

Childers (1978) señaló la considerable susceptibilidad de esta fase fenológica a heladas, empero en 2015 y 2016 durante la floración se tuvieron temperaturas ambientales mínimas de 3.6 y 1.9°C , respectivamente, que fueron lejanas a -3.3 y -2.8°C perjudiciales para botones florales y antesis, respectivamente (Cobianchi *et. al.*, 1989). Los tipos de ciruelo más sensibles al clima, en especial a la temperatura, son los ciruelos japoneses (Ryall y Pentzer, 1974), especie que necesita condiciones soleadas debido a que los fríos y las nieblas perjudican notablemente sus floraciones (Juscáfresa, 1997); no existió presencia de neblinas durante floración.

La floración es una fase especialmente crítica un cuanto a requerimiento hídrico en especies frutales, debido a que un déficit prolongado de agua puede evitar la iniciación floral (Jackson, 1969) o detener el crecimiento general (Jackson y Sweet, 1972). Los contenidos de humedad durante floraciones de 2015 y 2016 fueron adecuados.

Considerada desde floración, y no sólo desde crecimiento y desarrollo de frutos, la alternancia de producción de frutos durante los dos años consecutivos de estudio no hizo

presencia. Esta ausencia de alternancia fue probablemente debida a niveles balanceados de carbohidratos en las ramas desde el momento de floración (Goldschmidt *et. al.*, 1982; Agustí *et. al.*, 1992).

Aunque la etapa de floración requiere GDD para su complementación y marcha, es necesaria la presencia de un régimen de temperaturas durante antesis e inmediato posterior que asegure una buena polinización, desarrollo del tubo polínico y fecundación (Faust, 1989), así como ausencia de bajas temperaturas que puedan afectar negativamente la viabilidad del óvulo y el desarrollo del saco embrionario (Thompson y Liu, 1972). Estos procesos de biología reproductiva estuvieron sometidos a un régimen térmico de 343.15 U.C. en el ciclo productivo 2015 y de 352 U.C. en el ciclo productivo 2016, ambos regímenes considerados desde el día de antesis la primer flor formada (7 de febrero en 2015 y 3 de marzo 2016) hasta el último día de antesis de la última flor formada (11 marzo en 2015 y 1 de abril en 2016).

4.2.6 Crecimiento y desarrollo de frutos

El crecimiento y desarrollo de los frutos analizado en esta investigación fue caracterizado por una curva doble sigmoide compuesta por tres etapas, tal como el tipo crecimiento de frutos propuesto por Polito (1981) para las drupáceas en general y semejante al crecimiento reportado por León (1994) para ciruelo japonés cultivar Songold.

Como puede observarse en la Figura 43, la primera etapa del crecimiento y desarrollo de frutos exhibe un considerable incremento lineal del tamaño del pericarpio; la duración de esta etapa en 2015 fue de 19 días (17 marzo-4 abril), y en 2016 de 17 días (5-21 de abril de 2016). Según Jackson y Coombe (1966), este crecimiento es resultante de la división de todas las partes del ovario con excepción del endospermo y el embrión, y en *Prunus armeniaca* reportaron una duración de 30 a 40 días. La diferencia en duración de esta etapa de crecimiento y desarrollo entre ciruelo y chabacano, además de temperaturas ambientales de los dos sitios estudiados, pudo deberse a diferentes niveles de citocininas y giberelinas propios de ambas especies, aunque, de acuerdo con Crane (1964), en general, el nivel de ambas hormonas es alto durante esta etapa.

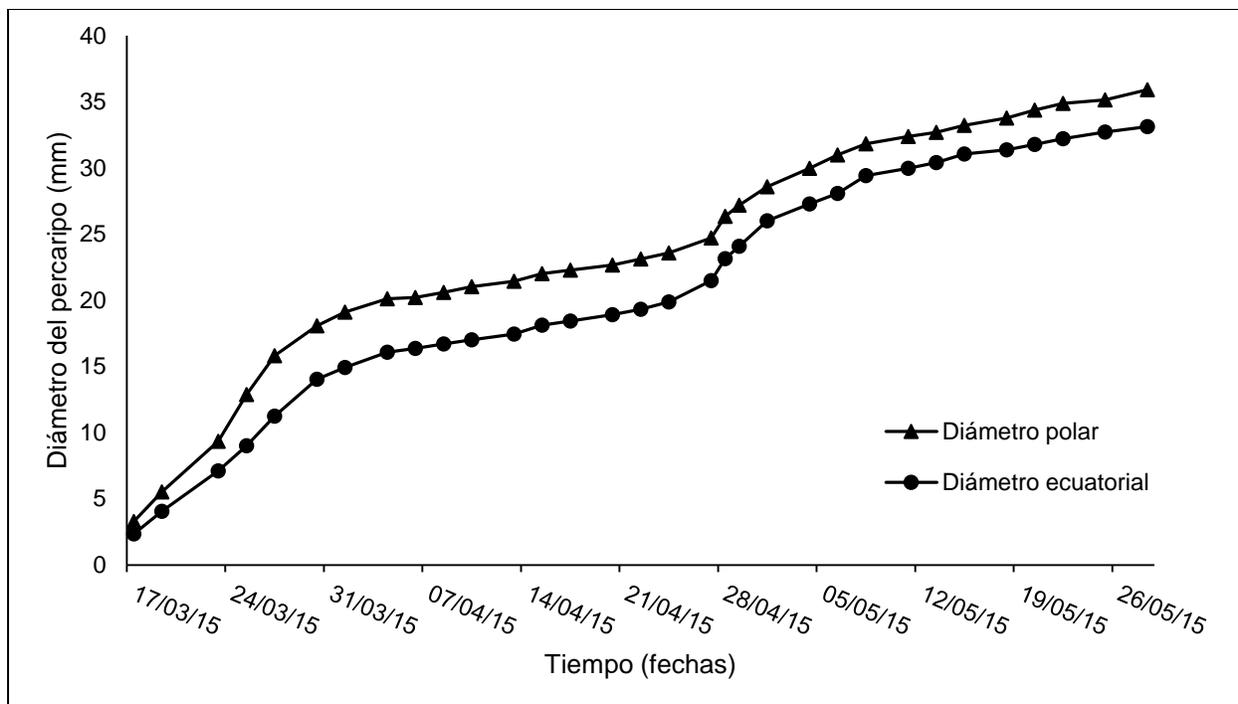


Figura 43. Crecimiento y desarrollo de frutos en 2015, medido a través del diámetro polar y ecuatorial.

De acuerdo con Jackson y Coombe (1966), la segunda etapa del crecimiento y desarrollo de frutos corresponde a la detención del crecimiento del pericarpio debido a que el mesocarpio no se desarrolla, se lignifica en endocarpio y crecen el endospermo y el embrión. Aunque en los frutos de ciruelo bajo estudio no fue observada una detención del crecimiento, sí fue registrada una considerable disminución del mismo, ya que el incremento de diámetros de los frutos siguió siendo lineal, pero menos marcado que en la primera etapa.

Este periodo de disminución de crecimiento tuvo una duración de 23 días (5-27 abril) en 2015, y de 22 días (22 de abril-13 de mayo) en 2016. Ambas duraciones más cortas que la reportada en chabacano (40 días) por Jackson y Coombe (1966). El nivel auxinas en los frutos de ciruelo durante esta segunda etapa seguramente fue alto, mientras que el de citocininas y giberelinas estuvo disminuyendo (Crane, 1964). En la Figura 44 se muestra la segunda etapa de crecimiento y desarrollo de frutos durante el ciclo productivo 2016.

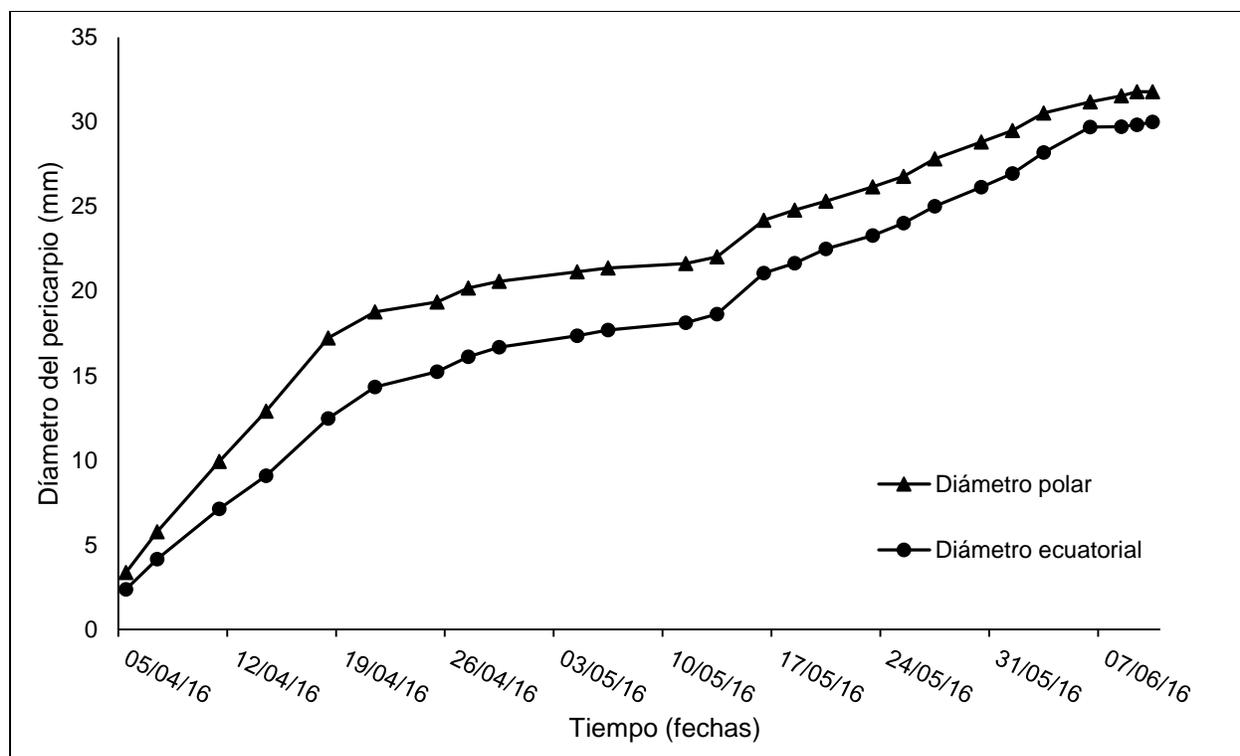


Figura 44. Crecimiento y desarrollo de frutos en 2016, medido a través del diámetro polar y ecuatorial.

Durante la tercera etapa del crecimiento y desarrollo de frutos, ambos procesos fueron más rápidos que en la segunda etapa y menos rápidos que en la primera etapa, debido a la expansión de las células del mesocarpio (Jackson y Coombe, 1966). Esta tercera etapa, en chabacano tuvo una duración de 20 días (Jackson y Coombe, 1966); en ciruelo de 31 días (28 abril-28 mayo) en 2015, y 28 días (14 mayo-10 junio) en 2016. Según Crane (1964), la concentración de promotores del crecimiento en frutos continuó descendiendo como en la segunda etapa, mientras que el nivel de ABA fue incrementando.

Chalmers *et. al.* (1984) comentaron que la producción de frutos de alta calidad se debe en gran medida al correcto mantenimiento del suplemento de agua en el suelo. En este estudio, se cubrieron las necesidades de evapotranspiración de los árboles durante esta fase fenológica, aunque en muchos casos el agua puede ser retenida por la influencia del crecimiento de frutos (Chalmers *et. al.*, 1984).

Las buenas condiciones hídricas del suelo pudieron impactar favorablemente el rendimiento y la calidad de frutos, así como la acumulación radical; factores que según Shock *et. al.*, (1998), evitan afecciones negativas en frutos y probablemente disminuye alternancia.

El 1 de junio de 2016 se presentó una precipitación sólida que dañó la integridad de frutos; los impactos del granizo no provocaron caída de frutos (Figura 45).

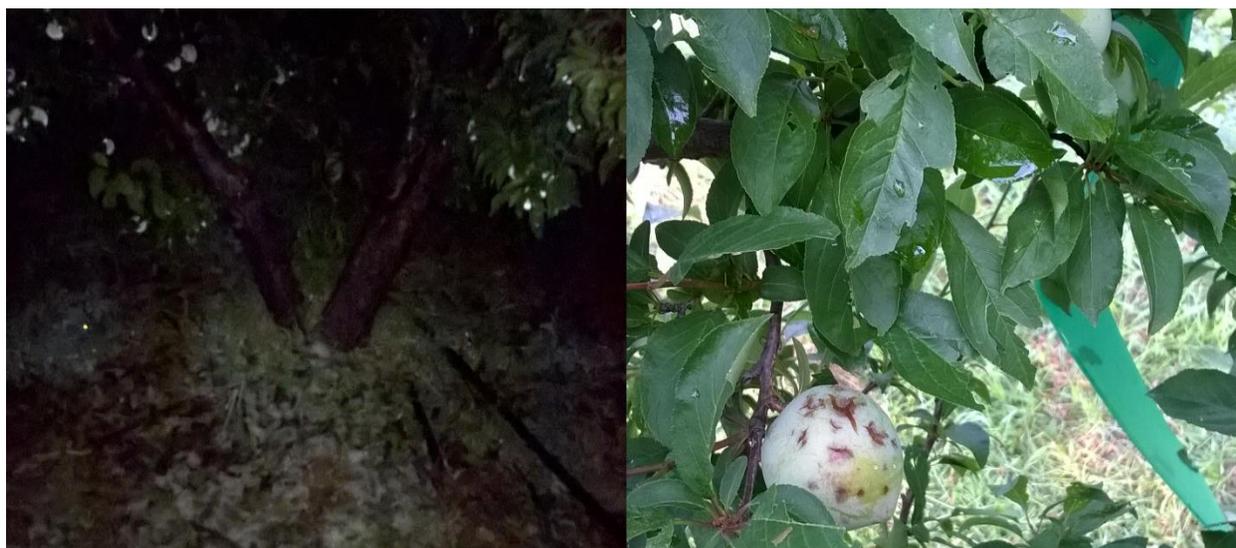


Figura 45. Precipitación sólida y daño a frutos por golpes de granizo.



Figura 46. Crecimiento y desarrollo de frutos en 2015.



Figura 47. Crecimiento y desarrollo de frutos en 2016.

El crecimiento y desarrollo de los frutos es consecuencia de la división y expansión celular, y es dependiente de la importación de carbohidratos sintetizados en diferentes partes de la planta (Moore, 1997). Las sustancias nutritivas transportadas al pericarpio, pudieron haber sido sintetizadas en su mayoría por hojas cercanas a frutos a través de fotosíntesis (Moore, 1997), por lo que los altos porcentajes de RFAi y adecuada temperatura ambiental, durante el crecimiento y desarrollo de frutos, fueron esenciales en la obtención de cosecha. De la misma manera, el buen contenido de humedad en el suelo debió permitir el transporte de carbohidratos que entran al fruto a lo largo de haces vasculares y que penetran el mesocarpio (Moore-Gordon, 1997).

En este sentido, como ya fue mencionado en floración, no se presentó hábito alternante en la producción de frutos, lo cual se debe también posiblemente a correctos niveles de carbohidratos en ramas (Li *et. al.*, 2003)

4.2.7 Caída y amarre de frutos

Durante las tres etapas de su crecimiento y desarrollo, los frutos fueron susceptibles a su desprendimiento del resto de la planta. De acuerdo a Faust (1989), durante la transición del ovario de la flor a fruto, es posible la existencia de yemas florales mal

formadas, inmaduras y desnutridas, la presencia de un régimen de temperaturas durante antesis e inmediato posterior que no asegure una buena polinización, desarrollo del tubo polínico y fecundación, así como un aporte inadecuado de fotosintatos cuando el ovario inicia el desarrollo.

Las condiciones anteriormente mencionadas, dan como resultado un mal amarre de frutos, que significará la caída de éstos durante la primera etapa de su crecimiento y desarrollo, caída que ocurre después de la floración debido también a la muerte del embrión, el cual, tenían un contenido de auxinas muy bajo (Almaguer, 1998).

Durante la primera etapa del crecimiento y desarrollo de frutos de ambos ciclos productivos fue registrada primera caída, en 2015 ocurrió del 17 al 23 de marzo, y, en 2016, del 7 al 12 de abril. Conocer el momento de esta caída es importante en la implementación de estudios y medidas agronómicas orientadas a profundizar acerca de las causas de esta caída y encontrar tratamientos integrales que eviten en la mayor medida futuras primeras caídas de frutos en la producción de fruta. En la Figura 48 puede apreciarse el tamaño de frutos durante la primera caída.



Figura 48. Primera caída de frutos en los ciclos productivos 2015 (izquierda) y 2016 (derecha).

La segunda caída de frutos en 2015 fue registrada del 6 al 12 de abril, y en 2016 del 21 y 28 de abril; en ambos años, esta caída ocurrió mientras sucedía la segunda etapa de

crecimiento y desarrollo de frutos (Figura 49). Se reporta que la principal causa de esta caída es un bajo contenido de promotores del crecimiento en frutos (Almaguer, 1998), lo que es lógico, si se toma en cuenta que en esta etapa existe una detención del crecimiento del pericarpio (Jackson y Coombe 1966), así como a un alto nivel auxinas concomitante a la disminución paulatina de citocinas y giberelinas (Crane, 1964).



Figura 49. Segunda caída de frutos en los ciclos productivos 2015 (izquierda) y 2016 (derecha).

También llamada caída precosecha, la tercera caída es debida a que los frutos, además de tener un contenido bajo de auxinas, están sometidos a la competencia entre sí por nutrimentos del árbol (Almaguer, 1998); tuvo lugar del 30 de abril al 12 de mayo en 2015 y del 15 al 26 de mayo en 2016, es decir, desde poco después de inicio de la tercera etapa de crecimiento y desarrollo de frutos hasta aproximadamente dos semanas antes de cosecha (Figura 50).

Debido a que esta es la caída más perjudicial por cantidad de materia comerciable perdida, ahora que se conocen los momentos de esta caída, pueden ser planeadas fertilizaciones futuras que propicien la disminución del porcentaje de frutos caídos durante esta fase.



Figura 50. Tercera caída de frutos en los ciclos productivos 2015 (izquierda) y 2016 (derecha).

La metodología de Vallejos (2002) permitió observar con claridad la evolución de la caída de frutos y las caídas más perjudiciales, así como el porcentaje de amarre que los árboles presentaron. El número máximo de flores fue alcanzado el 22 de marzo, y a partir del 4 de abril se comenzó el monitoreo de la caída de frutos. La Figura 51 muestra los momentos y porcentajes de frutos caídos.

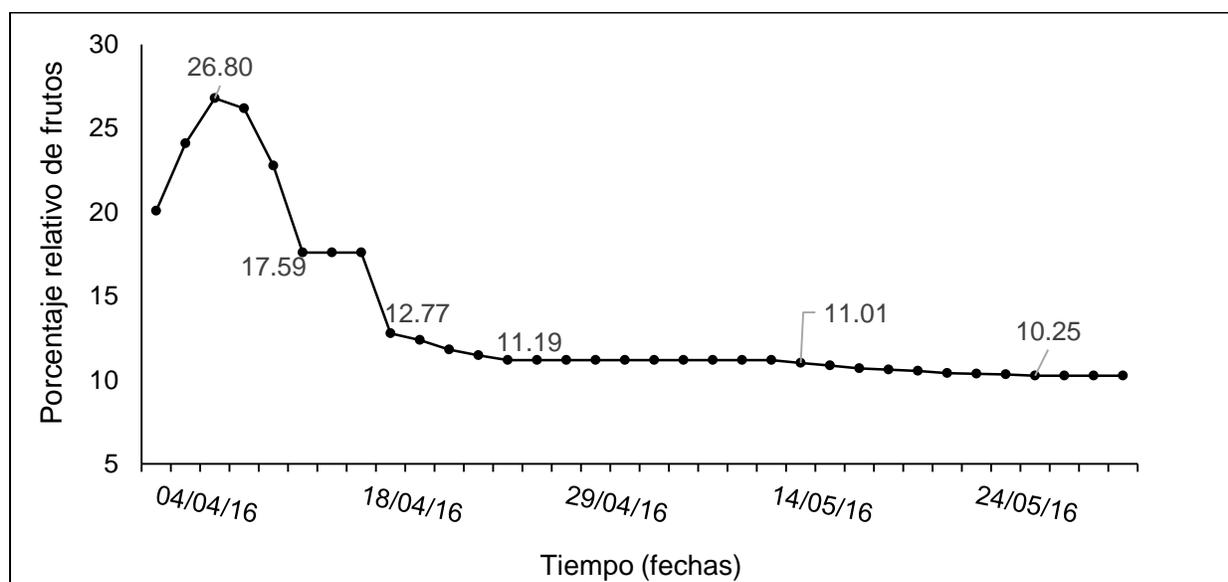


Figura 51. Porcentaje relativo de frutos persistentes y porcentaje de amarre de frutos, durante el crecimiento y desarrollo de frutos en el ciclo productivo 2016.

Aunque el ciruelo en general amarra una porción muy alta de frutos (Westwood, 1978) y el porcentaje promedio de amarre del cultivar Methley es de 31%, clasificado como elevado o muy alto (Cobianchi *et. al.*, (1989), en este estudio el porcentaje de frutos amarrados fue 11.19%. En la figura anterior puede notarse, de hecho, que el porcentaje máximo de frutos inicialmente formados (26.8) y previo a las tres caídas de frutos no alcanza siquiera el 30%. Lo anterior es un indicativo de que durante la transición del ovario de la flor a fruto, que supone la iniciación de un crecimiento de los tejidos del ovario (Faust, 1989), es posible la existencia de yemas florales mal formadas, inmaduras y desnutridas, así como un aporte inadecuado de fotosintatos cuando el ovario inicia el desarrollo, provocando un mal amarre (Faust, 1989).

La identificación de este problema post-floración, facilitará el establecimiento de experimentos, en momentos fenológicos precisos, para llegar a soluciones que brinden una alta formación temprana de frutos superior al 31% previa a la primera caída de frutos, que dé un margen de caída de frutos sin comprometer un muy alto o alto porcentaje de amarre.

En lo correspondiente a las caídas de frutos en 2016, la primera afectó 9.21% el amarre de frutos; posiblemente durante este periodo están muriendo los embriones de aquellos frutos que tenían un contenido de auxinas muy bajo (Almaguer, 1998). La segunda caída, con porcentaje de afección de 1.58%, brinda una alta posibilidad de lograr, en los próximos ciclos productivos, la total anulación esta caída. El porcentaje de desprendimiento de frutos en la tercera caída, igual a 0.76%, evidencia un buen estado nutricional de los árboles así como un correcto nivel auxínico a este momento del crecimiento y desarrollo de frutos, ya que esta caída es debida a la competencia entre frutos por nutrimentos del árbol y al contenido bajo de auxinas (Almaguer, 1998). Es necesario desarrollar investigación que permita reducir aún más las dos últimas caídas.

El único antecedente de cálculo del porcentaje de amarre del cv. Methley en México, fue el realizado por Almaguer *et. al.*, (1987), quienes mediante polinización manual obtuvieron un 26.53% de frutos amarrados, y en polinización libre 5.8%. La polinización

manual podría ser implementada como medida de incremento del porcentaje de amarre de frutos en los árboles bajo estudio.

Cobianchi *et. al.* (1989), comentaron que, cuando no se alcanza el 31% de amarre, hay una relación adversa con la temperatura baja o alta. Sin embargo, el sitio de estudio ofrece a los árboles buenas condiciones térmicas de temperatura y energía calorífica (Cuadro 8), por lo cual, es posible que factores hormonales y nutricionales sean responsables del bajo amarre de frutos.

Cuadro 8. Regímenes térmicos durante la caída de frutos en ambos ciclos productivos.

Ciclo productivo	Caída	Régimen térmico (U.C.)
2015	Primera	91.95
	Segunda	92.5
	Tercera	179.3
2016	Primera	88.25
	Segunda	97.4
	Tercera	181.05

4.2.8 Madurez fisiológica y de cosecha de frutos

La maduración de los frutos de ciruelo japonés fue conformada por los procesos que, orientados a la consecución de la madurez fisiológica o de la madurez de cosecha, ocurrieron desde los últimos estados de crecimiento y desarrollo de estos órganos hasta los estados tempranos de senescencia (Watada *et. al.*, 1984). La maduración de los frutos bajo estudio comprendió dos tipos de madurez, a saber, madurez fisiológica y madurez de cosecha.

Aunque la madurez fisiológica de frutos (Figura 52) se caracteriza por ser una etapa de desarrollo en que un fruto puede continuar su ontogenia, incluso si es desprendido del resto de la planta (Watada, *et. al.*, 1984), los frutos de ciruelo estudiados no fueron desprendidos del árbol, con la finalidad de identificar la ubicación temporal de esta fase dentro de la fenología general de la especie. En el ciclo productivo 2015, la madurez

fisiológica ocurrió del 19 al 28 de mayo, y en el ciclo productivo 2016, del 31 de mayo al 10 de junio. La identificación y cálculo de duración, con base en tiempo fisiológico de esta fase fenológica, facilitará actividades agronómicas para el cuidado de frutos próximos a cosecha y permitirá calendarizar el inicio de cosecha.



Figura 52. Frutos en madurez fisiológica en 2015.

Posterior a la madurez fisiológica, se presentó la madurez de cosecha (Figura 53), estado de desarrollo caracterizado porque el pericarpio posee los requisitos para su utilización por consumidores con un propósito particular (Watada, *et. al.*, 1984). En esta etapa, los frutos sufrieron cambios externos de sabor y textura, que consistieron en modificaciones de coloración, descenso en el contenido de almidón concomitante con un incremento en la concentración de azúcares, reducción de concentración de ácidos y pérdida de firmeza (Azcón y Talón, 2008). En 2015, la madurez de cosecha ocurrió del 25 de mayo al 23 de junio, y en 2016 del 6 al 23 de junio.

Cabe mencionar que la madurez de cosecha es determinada con base en criterios del fruticultor y casi siempre muy relacionados con características organolépticas exigidas

por el mercado. Conocido el periodo de madurez de cosecha, puede ser prevenida la pérdida de frutos por sobre maduración en el árbol por medio de la planeación de cosecha, lo que implica el cálculo de número de cosechadores y tiempo de cosecha.



Figura 53. Frutos en madurez de cosecha en 2016.

4.2.9 Abscisión foliar

En ambos ciclos productivos, esta fase fenológica inició con el amarillamiento de hojas debido principalmente a una infección de roya (*Tranzschelia pruni-spinosae*), enfermedad que estimuló un ecoletargo en los árboles, donde la detención del crecimiento fue regulado por la condición fitopatológica (figura 54). Y aunque una característica del ecoletargo, es que cuando desaparecen las condiciones desfavorables, el crecimiento se reanuda (Sarvas, 1974; Lang *et. al.*, 1987), en los dos años bajo estudio, no hubo reanudación de crecimiento por la cercanía temporal de la infección al otoño, esta estación del año en que el periodo en que el desprendimiento de hojas en

especies frutales caducifolias comienza debido al hecho de que las yemas entran en un periodo de inactividad que puede ser controlado por el acortamiento de la duración del día (Caffarra *et. al.*, 2011), combinado o no, con bajas temperaturas al inicio de la tercera estación del año (Heide and Prestrud, 2005; Penfield, 2008).



Figura 54. Infección de roya en los ciclos productivos 2015 (izquierda) y 2016 (derecha).

La senescencia foliar, en 2015, inició el día 26 de junio, con el amarillamiento de algunas hojas en cada uno de los árboles. Al día 8 de julio había hojas infectadas distribuidas en toda la copa de los veinte árboles, hasta formar sectorizaciones de 20 cm de diámetro al día 20 de julio. El 24 de julio comenzó la caída de hojas en las sectorizaciones, y el día 31 de julio las zonas de sectorización estaban completamente defoliadas.

El 7 de agosto (mes menos lluvioso que julio) las pústulas en hojas redujeron, y a partir del día 14 de este mes la defoliación comenzó a ser visualmente más lenta y menos aislada en diferentes sectores de las copas de los árboles, inclusive, no hubo formación

de más sectorizaciones. Sin embargo, desde el 6 de agosto había comenzado ya una defoliación acropétala, que fue la abscisión foliar propia de la fisiología interna del árbol (Figura 55), que tuvo duración hasta el 21 de septiembre.

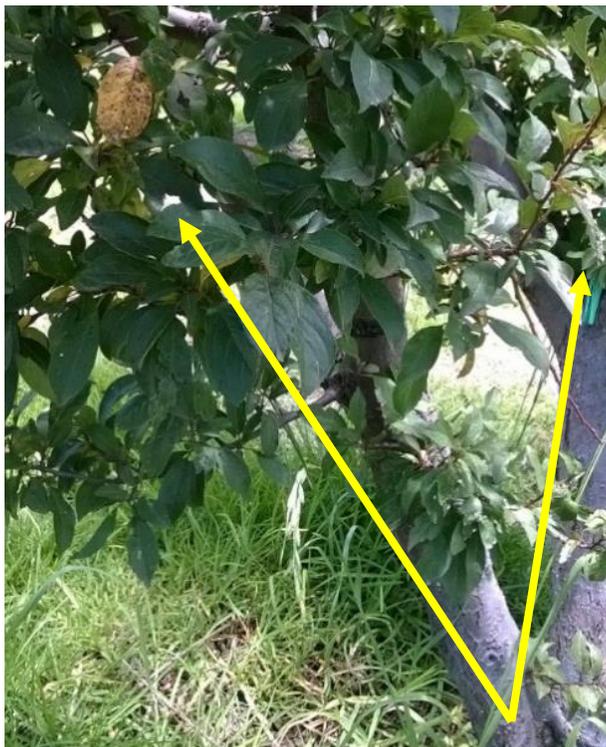


Figura 55. Abscisión de hojas basales en el ciclo productivo 2015.

La abscisión foliar vegetal, fisiológicamente desarrolló una secreción de enzimas que hidrolizan la celulosa y las pectinas de las células de la zona de abscisión (Reid, 1985). Esta actividad provocó el desprendimiento controlado de las hojas, que en dicotiledóneas leñosas distingue las capas de abscisión y de protección. La primera, formada por células cortas de pared delgada, y la segunda formada por deposición de suberina en paredes celulares y espacios intercelulares (Raven, *et. al.*, 1992).

La importancia de una correcta abscisión foliar en los árboles bajo estudio, estribó en la protección que la deposición de suberina hizo en zonas cercanas a las yemas que

brotaron durante el siguiente ciclo productivo. Esta protección fue complementada con el cuidado de ramas durante letargo por medio de podas de sanidad y de formación.

En 2016 el amarillamiento de hojas en árboles inició el día 22 de junio por afección de roya. El proceso fue más prolongado que en el año 2016, tuvo duración hasta el 7 de julio, lo que significó una menor intensidad de la enfermedad, ya que la aparición de pústulas en hojas ocurrió al día 13 de julio. La diferencia temporal y de intensidad en el amarillamiento foliar probablemente se debió a la diferencia en precipitaciones de un año a otro. Al 13 de julio la distribución espacial de la enfermedad ya abarcaba toda la copa de los árboles, y el 20 de julio iniciaba la formación de sectorizaciones en los árboles. El 24 de julio comenzó la caída de hojas en las sectorizaciones, y el día 31 las zonas de sectorización estaban completamente defoliadas. Al 7 de agosto las pústulas en hojas redujeron, y a partir del día 14 de este mes la defoliación fue visualmente más lenta y no hubo formación de más sectorizaciones. Al 6 de agosto comenzó la defoliación acropétala, es decir, la abscisión foliar vegetal propia de la aproximación del otoño (Figura 56), que tuvo duración hasta el 19 de septiembre, día de inicio del ecoletargo.



Figura 56. Abscisión de hojas basales en el ciclo productivo 2016.

En ambos ciclos, durante el mes de julio (mes más lluvioso de año en Texcoco según Climate-data.org, 2015), se presentó el mayor estado infeccioso de hojas debido a la alta humedad relativa del mes. La infección y el ecoletargo causados por la condición patológica, evidenciaron la ventaja que las plantas tienen para sobrevivir mediante abscisión foliar (Reid, 1985), mecanismo fisiológico que incluye una movilización de savia bruta y elaborada desde las hojas hacia los órganos permanentes (ramas, tronco y raíz) (Reid, 1985), llamada flujo reverso.

Durante este proceso en 2015, el régimen térmico fue de 1177.35 UC, y en 2016 de 1220.4 UC. La similitud de ambos regímenes térmicos permite proponer que esta fase fenológica es también dependiente de una cantidad mínima necesaria de GDD y no sólo de un régimen térmico, lo cual, no ha sido reportado hasta ahora. Las plantas tuvieron una considerable cantidad de calor disponible para crecer y desarrollar, y la abscisión foliar por roya o natural, es de interés económico debido a que afecta la producción de los cultivos por medio de la reducción el área fotosintéticamente activa (Noodén y Guiamét, 1989).

4.2.10 Letargo

Ocurrida la abscisión foliar, inició el letargo de los árboles. Este estado fenológico, definido por el cese y la reanudación del crecimiento, y que, fisiológicamente, se dice que está ocurriendo cuando deja de haber una observable acumulación de biomasa (Raven, *et. al.*, 1992), fue estudiado a través del ecoletargo y endoletargo.

El endoletargo permite a la planta continuar su desarrollo bajo condiciones de temperaturas extremas y el ecoletargo sobrevivir ante deficiencias hídricas o algún otro factor climático o edáfico limitante (Faust, *et. al.*, 1997), por ejemplo, una baja disponibilidad de nutrientes (Lang *et. al.*, 1987).

En ambos ciclos productivos, un ecoletargo, provocado por una infección de roya, precedió al endoletargo. El ecoletargo de los ciruelos en 2015 inició el día 22 de septiembre y finalizó entre los días 23 de octubre y 1 de noviembre, y en 2016 inició el

día 19 de septiembre. Esta fase fenológica permitió a los árboles sobrevivir a la condición infecciosa desfavorable (Sarvas, 1974; Lang *et. al.*, 1987), aseguró el desarrollo regular de las yemas, e impactó significativamente las fases de desarrollo subsecuentes por medio de la supervivencia de estos órganos (Faust, *et. al.*, 1997), ya que transcurrida la enfermedad, aunque los ciruelos tenían sus ramas defoliadas, éstas seguían siendo íntegras y funcionales, lo que hizo posible el correcto inicio y marcha del endoletargo.

El régimen térmico durante ecoletargo en 2015 pudo ser favorable para la actividad bioquímica interna de los azúcares en los árboles. En este aspecto, Yelenosky (1985) reportó que árboles de naranja que tenían en madera relaciones 17:1 azúcar: almidón, resistieron sin daño temperaturas de 6.7°C, mientras que árboles con relaciones 1:1 resultaron muertos. El régimen térmico osciló entre 360.8 y 479.9 UC; la diferencia térmica es debida a las distintas fechas de inicio de acumulación de UF, como se explica texto abajo. Sin embargo, el ecoletargo, al igual que la abscisión foliar, puede ser dependiente de una cantidad específica de GDD, los cuales, son ahora conocidos.

Con el endoletargo, los árboles del huerto sobreviven al frío invernal por medio de un estado característico de reducida actividad general (Erez and Lavee, 1971; Chuine, 2000), en el que existió un balance hormonal dentro de la yema, y aunque las condiciones ambientales fueron favorables para el crecimiento en ciertos días, el crecimiento no se reanudó (Sarvas, 1974; Lang *et. al.*, 1987). Mientras transcurría el endoletargo, una acumulación específica de lapsos bajo determinadas temperaturas frías ayudó a los árboles a superar esta fase fenológica (Erez and Lavee, 1971; Chuine, 2000).

De acuerdo con Arbor Day Foundation (2016) y SFGATE (2016), el requerimiento de frío del cv. Methley es de 150-250 UF, por lo que en diversas investigaciones le fueron atribuidas características tales como: Pocas necesidades de frío (Samish, 1948), recomendada como resistente a falta de frío (Jackson, 1947), casi inmune a falta de frío (Black, 1947) y poco exigente de frío invernal (Chandler y Brown, 1951; Mazzocchi y Pucci, 1963).

El cálculo de UF, al ser desarrollado con el modelo matemático propuesto por Richardson *et. al.* (1974), arrojó como fecha de inicio de acumulación de temperaturas frías necesarias para hinchamiento de yemas el día 1 de noviembre de 2015 (inicio de endoletargo), y al día 8 de febrero de 2016 (primer día de hinchamiento de yemas en un árbol) habían sido acumuladas 140.5 UF. Al día 10 de febrero, la mitad de árboles tenían sus yemas hinchadas y el número de UF acumuladas era 171.5, y el día 21 de febrero se alcanzó la máxima acumulación de unidades frío, es decir, 191.5 UF (Figura 57).

Previo al día de máxima acumulación de UF, ya había ocurrido el hinchamiento de yemas en algunos árboles, los cuales, probablemente requieren menos frío para reanudar su crecimiento, en comparación con aquellos árboles de la misma población que requieren un número de UF más cercano a 191.5 UF.

Sin lugar a dudas, al día 21 de febrero, ya habían sido estimulados todos los árboles para reanudar su crecimiento, pues aquellos árboles que brotaron del día 22 al 29 de febrero, pudieron requerir del estímulo de esta máxima cantidad de frío, o, en su defecto, si requirieron una menor cantidad de frío, estuvieron sometidos a ésta menor cantidad, previo al 21 de febrero.

Es poco probable que la salida de endoletargo de los árboles que presentaron brotación de yemas del 22 al 29 de febrero haya sido estimulada por una cantidad de UF menor a 191.5 presentada después del 21 de febrero, ya que no han sido reportados casos en los que ocurra el hinchamiento de yemas mediante un estímulo de acumulación y des-acumulación de UF. De hecho, se sabe que el endoletargo es el tipo de letargo que es liberado mediante la exposición a bajas temperaturas a largo plazo, y que la acumulación de frío restablece la capacidad de crecer, aunque no promueve el crecimiento (Rohde y Bhalerao, 2007). Las bajas temperaturas (menores a 7.2°C), posteriores al 21 de febrero, pudieron no ser acumuladas por las yemas dada la previa satisfacción de requerimiento de frío, y sí pudieron comenzar a ser parte de las temperaturas diarias que afectan el metabolismo fisiológico reanudado en los árboles.

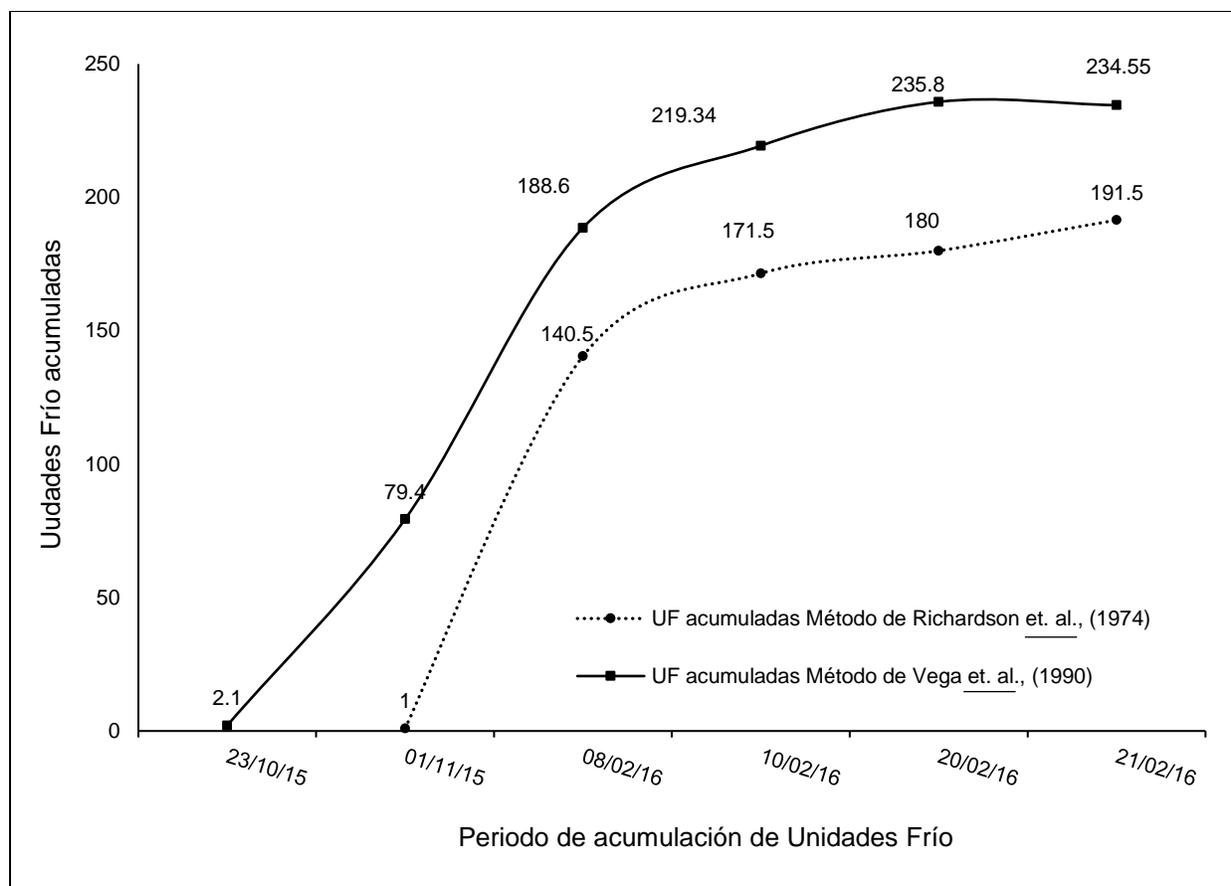


Figura 57. Evolución de la acumulación de U.F durante letargo de acuerdo al modelo de Richardson *et. al.* (1974) y de Vega *et. al.* (1990).

Por otra parte, el cálculo de requerimiento de UF desarrollado con el modelo de Vega *et. al.*, (1990), permitió observar otra tendencia de acumulación de temperaturas frías (Figura 57). La especificidad de este modelo, creado para latitudes mexicanas con climas templados de altura, evidenció una mayor acumulación de frío en comparación con el modelo de Richardson *et. al.* (1974); desde el 23 de octubre comenzó la acumulación de UF, y un día antes del inicio de hinchamiento de yemas, es decir, al 7 de febrero de 2016 se habían acumulado 182.03 U; al 10 de febrero se acumularon 203.22 UF que permitieron el hinchamiento de yemas en la mitad de árboles bajo estudio, y, la máxima acumulación de UF (235.8), seguramente fue la cantidad de frío necesaria para estimular el hinchamiento de yemas en aquellos árboles que reanudaron crecimiento del 22 al 29 de febrero.

Las 191.5 y 235.8 UF acumuladas de acuerdo a los modelos de Richardson *et. al.* (1974) y Vega *et. al.* (1990) durante el endoletargo 2015-2016, tomaron un periodo comprendido del 23 de octubre y del 1 de noviembre de 2015 al 7 de febrero de 2016, respectivamente.

Ambas cantidades de UF, hicieron posible la iniciación del hinchamiento de yemas el día 8 de febrero de 2016. Sin embargo, los cálculos parecen indicar que, aunque en ambos casos las necesidades de frío son cubiertas, el hecho de aplicar un modelo creado para latitudes mexicanas con climas templados de altura permite hallar una cantidad de frío más cercana y suficiente para el correcto hinchamiento y brotación de yemas, hecho que permite asegurar que el requerimiento de UF del cultivar Methley en Texcoco, México, es correctamente acumulado y completado.

El empleo del modelo de cuantificación de UF de Shaltout y Unrath (1983), al tener inmersa la sustracción de hasta 2 UF previamente acumuladas cuando hay temperaturas ambientales mayores a 19°C durante 1h (comunes a diario en clima templado de altura, aún durante fechas de endoletargo, es decir, fechas invernales), contrarresta más que el modelo de Richardson *et. al.*, (1974) la acumulación de UF, generando una pérdida mayor de UF por presencia de altas temperaturas.

Por lo anterior, el modelo de Shaltout y Unrath (1983), arrojó únicamente entre 18.5 y 66 UF como máxima cantidad de frío acumulado en la zona de estudio, esto, aun variando fechas de inicio y término de acumulación de frío buscando una mayor acumulación. Además, el tiempo (días) de acumulación de frío usando el modelo de Shaltout y Unrath (1983), también llamado modelo de Carolina del Norte, fue corto, debido a la considerable y continua presencia de días cuyos altos valores de temperaturas máximas diarias interrumpían la acumulación de UF, acumulando, incluso, valores negativos de UF a diario.

En cuanto a requerimiento de UF por parte de los ciruelos, el desarrollo de los modelos de Richardson *et. al.* (1974) y Vega *et. al.* (1990), permite refutar la idea mencionada por

Almaguer, *et. al.*, (1987), que, sin cálculos de requerimiento de UF y empleando Horas Frío, aseguraron que la prolongada duración de la floración (54-64 días) del cv. Methley en Texcoco, México, fue debida a la inadecuada e insuficiente acumulación de frío. En este aspecto, la duración de la floración registrada en el ciclo productivo 2016 en Montecillo, lejos de ser un síntoma de deficiente acumulación de UF, como Almaguer, *et. al.*, (1987) lo aseguraron, pudo deberse a factores como insolación (Tabuenca, 1965), portainjerto (Paunovic *et. al.*, 1978), nutrición (Williams, 1965), tipo de suelo (Westwood, 1978), reguladores del crecimiento (Naska, 1978), riego (Hewett y Young, 1980), y precipitación (Tabuenca, 1965), etc.

En 1986, Almaguer y colaboradores registraron la brotación de yemas florales en cuatro cultivares de ciruelo japonés (entre ellos Methley), del día 20 de febrero al día 28 de abril, fechas coincidentes con las mostradas en esta investigación.

4.2.11 Desfase e intensidad de fases fenológicas en los ciclos productivos 2015 y 2016. Las principales causas que afectan la periodicidad de las fases fenológicas en árboles frutales son la marcha anual de la temperatura, la variación periódica del día y el régimen pluviométrico (de Fina y Ravello, 1973).

En este contexto, la diferencia en cantidad y distribución temporal de la precipitación en 2015 y 2016, pudo influir en la diferencia de fechas de inicio y fin de las etapas fenológicas de ambos años, ya que el régimen pluviométrico tiene marcado efecto en los fenómenos periódicos de los vegetales fuera de las regiones vecinas al ecuador, debido a que en regiones cercanas al mismo, las lluvias son uniformes durante el año (de Fina y Ravello, 1973). La lluvia y el riego, pueden afectar el crecimiento vegetativo (Bradford and Hsiao, 1982), de frutos (Chalmers *et. al.*, 1984) y de raíces. Es decir, pueden afectar la intensidad y duración de etapas fenológicas por medio de la afección a la transpiración y fotosíntesis (Chalmers *et. al.*, 1985). Sin embargo, condiciones internas como la 'removilización' de nitrógeno, también pueden afectar fases fenológicas como floración y foliación (Sánchez, 2002).

León (1994) reportó que en ciruelo japonés cv. Songold, el crecimiento de órganos fue influenciado por las condiciones climáticas, hecho observado en este estudio a través de la temperatura ambiental que permitió la correcta marcha de fases fenológicas. León (1994), también observó una fuerte interacción entre los crecimientos vegetativo, radical y reproductivo en la fenología. En este estudio, el crecimiento radical de septiembre a diciembre de 2015, permitió observar que la mayor acumulación del crecimiento radical, coincide con el cese del crecimiento del injerto; también se observó crecimiento de órganos reproductivos y vegetativos simultáneamente, a saber, la floración y foliación.

Mientras se acercaba el otoño, con condiciones menos cálidas que mayo y menos lluviosas que julio, la detención del crecimiento de ramas fue simultánea al inicio de abscisión foliar, mientras tanto, iniciaba la acumulación de la mayor cantidad de raíces debido, entre otros factores, al aceptable contenido de humedad en el suelo logrado por la realización de riegos (Cuadro 9 y Figura 58).

Cuadro 9. Duración de las fases fenológicas en el ciclo productivo 2015.

Fase fenológica	Crec. vegetativo	Acumulación radical	Hinchamiento de yemas	Brotación de yemas florales	Brotación de yemas vegetativa	Crec. foliar	Floración	Crec. y desarrollo de frutos	Madurez fisiológica	Madurez de cosecha	Abscisión foliar	Ecoletargo	Endoletargo
Duración (fecha)	12 enero - 3 sept.	18 sept. - 31 diciembre	11 enero - 6 febrero	5-17 febrero	8-17 febrero	8 feb. - 17 julio	18 feb - 9 marzo	3 marzo - 28 mayo	19 - 28 mayo	25 mayo - 23 jun	26 junio - 21 sept.	22 sept.- 23 oct/1 nov	23 oct/1 nov - 7 feb

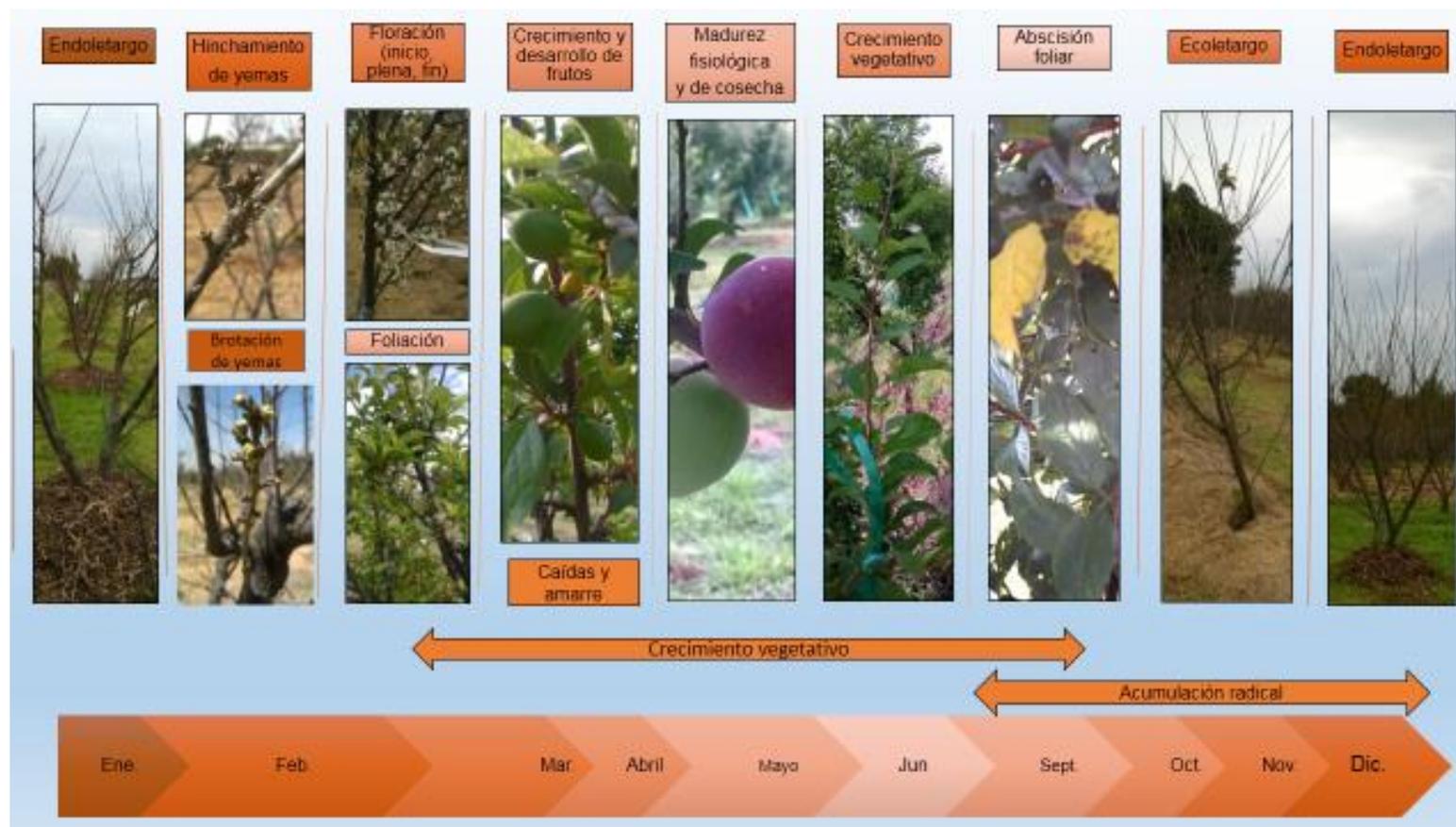


Figura 58. Secuencia temporal de fases fenológicas en el ciclo productivo 2015.

Ante la posibilidad de futuras comparaciones entre respuestas fenológicas de los árboles estudiados en esta investigación con árboles del mismo cultivar estudiados en cualquier otro lugar del país o del mundo, cabe recordar, que la ley de Hopkins concluye que las fechas de inicio de las fases fenológicas de los frutales, se retrasan cuatro días por cada grado de aumento en la latitud, por cada 120 m de elevación, y por cada 5° de longitud hacia el Este (de Fina y Ravello, 1973).

Se pretendía conocer las fechas de inicio y fin de cada una de las fases fenológicas estudiadas en 2015 y 2016. Naturalmente, de un año otro, la marcha anual de la temperatura, la variación periódica del día y el régimen pluviométrico variaron. Además del factor clima, las labores culturales como podas, fertilización, fecha de acolchado, y tiempo de cosecha, constituyeron factores de afectación sobre las tendencias fenológicas de ambos ciclos productivos. El Cuadro 10 y la Figura 59 muestran la duración y secuencia temporal de las fases fenológicas del ciclo productivo 2016, respectivamente.

Una explicación matemática para las diferencias de la duración de las etapas fenológicas fue dada por Summerfield *et. al.* (1989), a través de una función positiva de la temperatura entre el intervalo térmico de la T base y la T óptima. La idea anterior explica el hecho de que las temperaturas máximas diarias tuvieron efecto sobre la menor duración de las fases fenológicas: Hinchamiento de yemas florales y foliares, brotación floral, brotación foliar, fin de floración y crecimiento y desarrollo de frutos en 2016 con respecto de 2015; así como la menor duración que el inicio de floración y la madurez fisiológica tuvieron en 2015 con respecto de 2016, o bien, la misma duración de plena floración en ambos años. Menor duración de una fase fenológica debe entenderse como una mayor intensidad de la misma fase fenológica.

Cuadro 10. Duración de las fases fenológicas en el ciclo productivo 2016.

Fase fenológica	Crec. vegetativo	Acumulación radical	Hinchamiento de yemas	Brotación de yemas florales	Brotación de yemas vegetativa	Crec. foliar	Floración	Crec. y desarrollo de frutos	Madurez fisiológica	Madurez de cosecha	Abscisión foliar	Ecoletargo	Endoletargo
Duración (fecha)	8 febrero - 4 agosto	1 enero - 5 agosto	8 febrero - 2 marzo	1-10 marzo	3-11 marzo	8 febrero - 4 agosto	11 - 30 marzo	24 marzo - 10 junio	31 mayo - 10 junio	6 - 23 junio	22 junio - 18 sept	19 sept - sin determinar	Sin determinar

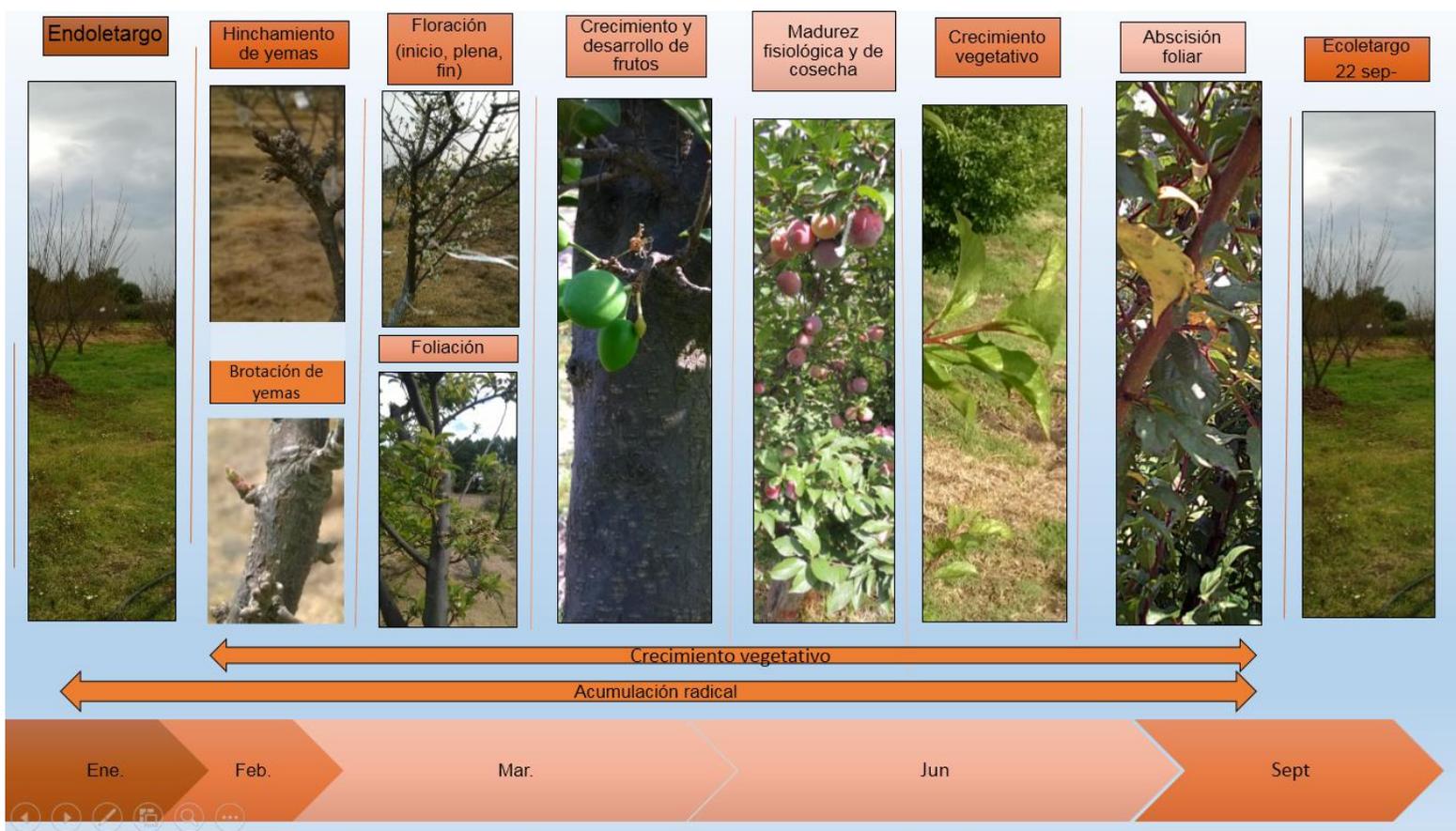


Figura 59. Secuencia temporal de fases fenológicas en el ciclo productivo 2016.

Por lo anterior, es lógico que al analizar las fases fenológicas y sus relaciones con ciertas condiciones agrometeorológicas, se observara que las fechas de inicio y fin de las fases fueron determinadas principalmente por la temperatura y humedad del suelo (caso raíz), elementos climáticos que de Fina y Ravello (1973) reportaron como importantes en las fechas de inicio de las fases.

Este estudio permitió saber que las condiciones ambientales del lugar son las requeridas por los materiales cultivar y portainjerto, es decir, la elección de ambos genotipos fue precisa para fines de plantación del huerto frutal; además, estas observaciones ayudarán significativamente a mejorar el manejo del cultivo a través de labores culturales.

Las ventajas mencionadas en el párrafo anterior, según Medel y Orueta (1986), son propias del estudio de fenología. Esta investigación coadyuvará en la sofisticación agronómica del cultivo, y facilitará la identificación y contextualización puntual de futuros temas de investigación necesarios o, en su defecto, imprescindibles, para cada fase fenológica por ejemplo, caso caída de frutos.

4.2.12 Requerimientos térmicos del cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirobolano

La obtención del requerimiento térmico específico de cada fase fenológica es imprescindible en estudios fenológicos (Sikder, 2009), debido a que muy ligada a la fenología se encuentra la constante térmica o tiempo fisiológico. Por lo anterior, fue desarrollado el cálculo de Grados Día de Desarrollo (GDD) por medio del método de Snyder (1985) para conocer la acumulación de temperaturas medias diarias que, por encima de una temperatura base (Ruiz *et al.*, 2002; López *et al.*, 2010), producen tanto una fase fenológica (Trudgill *et al.*, 2005) como la completa fenología de la especie.

Se sabe que la finalidad de cuantificar el tiempo fisiológico es para mejorar el uso del tiempo calendario en la predicción del desarrollo y describir el efecto de la temperatura

sobre la fenología (Salazar-Gutierrez *et. al.*, 2013), finalidad conseguida en la presente investigación.

Además, como lo apuntó Snyder (1985), la información relativa al requerimiento térmico podrá ser usada por agricultores para monitorear el desarrollo de procesos biológicos de sus árboles usando operaciones aritméticas simples, remplazando así el uso del tiempo calendario, el cual, que según Slafer y Savin (1991) y Mendoza *et. al.*, (2004), ha sido utilizados empíricamente para la predicción de las etapas de crecimiento y desarrollo de los cultivos.

La adopción del uso de un calendario de requerimiento térmico para el cultivo de ciruelo japonés cv. Methley basado en los GDD hallados en la presente investigación, brindará precisión técnica y agronómica para el cultivo del ciruelo japonés y relegará incertidumbres en lo relativo a planeación y calendarización de actividades culturales y agronómicas.

El Cuadro 11 muestra las fechas de inicio y fin de las fases fenológicas en el ciclo productivo 2015; las fechas permiten conocer la duración, en días, de las fases fenológicas. Asimismo, muestra la constante térmica, en GDD, que el ciruelo japonés cv. Methley necesita para completar las fases fenológicas consideradas en el estudio y así lograr la marcha de éstas a través del año.

Cuadro 11. Fases fenológicas con sus respectivas fechas de inicio y fin, y sus constantes térmicas.

Fase fenológica	Duración (fecha 2015)	Duración (fecha 2016)	GDD/UF de la fase fenológica en 2015	GDD de la fase fenológica en 2016	GDD Acumulados en 2015	GDD Acumulados en 2016
Hinchamiento de yemas florales	12 enero-4 febrero	8-29 febrero	<u>205.15</u>	<u>208.7</u>		
Hinchamiento de yemas foliares	12 enero-7 febrero	8 febrero-2 marzo	226	228		
Brotación floral	5-17 febrero	1-10 marzo	<u>96.9</u>	<u>97.8</u>	208.7	205.15
Inicio / fin de brotación foliar	8-17 febrero	3-11 marzo	87.8	85.2	228 / 313.2	226/302.05
Inicio de floración	18-22 febrero	11-16 marzo	57.25	51.35	<u>306.5</u>	<u>302.05</u>
Plena floración	20 febrero -3 marzo	14-25 marzo	127.45	131.95	357.85	359.3
Fin de floración	4-9 marzo	26-30 marzo	58.4	59.75	489.8	486.75
Crecimiento y Desarrollo de Frutos (CDF)	3 marzo -28 mayo	24 marzo - 10 junio	1115.75 969.85 ^x	1119.65 955.75 ^x		
Etapa 1 del CDF	17 marzo-4 abril ^x	5-21 abril ^y	238.35 ^x	231.85 ^x		
Etapa 2 del CDF	5-27 abril ^x	22 abril-13 mayo ^y	318 ^x	316 ^x		
Etapa 3 del CDF	28 abril-28 mayo ^x	14 mayo-10 junio ^y	413.5 ^x	407.9 ^x		
Madurez fisiológica	19-28 mayo	31 mayo-10 junio	136.2	138.35	955.75	955
Madurez de cosecha	25 mayo-23 junio	6-23 jun	411.2 ^w	243.2 ^w		
Endoletargo	1 noviembre 2015- 21 febrero 2016	No determinado	191.5 UF ^y			
Endoletargo	23 octubre 2015-20 febrero 2016	No determinado	235.8 UF ^z			

^wEl grado de madurez de cosecha es determinado con base en el grado de maduración de frutos que los consumidores exigen. ^xCalculados mediante frutos utilizados en la variable crecimiento y desarrollo de frutos. ^yUF calculadas con el método de Richardson *et. al.*, (1974). ^zUF calculadas con el método de Vega *et. al.*, (1990).

Con el propósito de lograr mayor precisión en el estudio, se realizó un segundo año de registro fenológico con su respectivo cálculo de tiempo fisiológico correspondiente al ciclo productivo 2016. De acuerdo con Fina y Ravello (1973), al estudiar la duración de las fases fenológicas de un cultivo se observa que ésta varía según los años. Afirmación

corroborada en el presente estudio y adjudicada a la diferencia en los valores térmicos máximos y mínimos ambientales diarios, así como a la marcha anual de la temperatura; factores que además se conjugaron con el hecho de que el crecimiento y desarrollo cesan, cuando las temperaturas ambientales son superiores o inferiores a la temperatura cardinal máxima y mínima de la especie, respectivamente, así como al hecho de que ambos procesos biológicos incrementan rápidamente cuando la temperatura ambiental cae entre los límites mínimo y máximo de las temperaturas cardinales de crecimiento (Brown, 2013).

La mayor intensidad de una fase fenológica, también entendida como una menor duración de la misma o una más rápida acumulación de GDD mínimos necesarios para pasar a otra fase, fue también reportada por Asseng *et. al.*, (2011), al reconocer a la temperatura acumulada como el principal factor de influencia en la variación de la fenología, y observar que el aumento de las temperaturas en general acelera el desarrollo fenológico, lo que resulta en un período de crecimiento más corto.

Los GDD fueron utilizados para integrar los efectos de la temperatura y describir acertadamente la temporización de los procesos biológicos, como en su momento lo realizaron McMaster y Wilhelm en 1997 y Stenzel *et. al.*, en 2006. Sin embargo, es preciso señalar la especificidad que este estudio tiene en cuanto a requerimiento térmico del cultivar, ya que, investigaciones realizadas han demostrado que los G.D.D. acumulados para la consecución de los estados fenológicos difieren de cultivar a cultivar (Trudgill *et. al.*, 2005).

Investigaciones como la realizada por Almaguer, *et. al.* (1986), habían estudiado parcialmente una o dos fases fenológicas del ciruelo japonés, en su mayoría floración. Hasta antes de la realización de este trabajo, sólo existía el reporte de requerimiento térmico (GDD) de plena floración realizado por Tabuenca y Herrero (1966), en el que la

cantidad de Grados Día de Desarrollo para la fase fenológica en mención fue coincidente con el cálculo presentado en este trabajo.

Investigadores han calculado requerimientos térmicos de distintos estados fenológicos en cultivos como aguacate (Rocha, *et. al.*, 2011), vid (Oliveira, 1998; Ortega, *et. al.*, 2002) y naranjo (Stenzel, *et. al.*, 2006). Puede considerarse, desde ahora, al ciruelo japonés cv. Methley, dentro este reducido grupo de especies frutales a las que se les ha calculado el tiempo fisiológico en todas sus fases fenológicas así como el requerimiento de UF.

4.3 Aspectos ecofisiológicos en la fenología

4.3.1 Peso Específico de Hoja

El Área Foliar, variable de importancia para los mecanismos de intercambio de agua y generación de energía, ayuda a entender interacciones cultivo-ambiente (Lieth y Reynolds, 1984; Tsubo y Walker, 2002). Además, permite describir procesos fisiológicos por medio de índices derivados (Warnock, *et. al.*, 2006) como el Peso Específico de Hoja. Este índice permite estimar la fotosíntesis a través de la producción de materia seca por unidad de superficie foliar (Secor, *et. al.*, 1982).

La figura 60 muestra la evolución del PEH durante la última parte del periodo de crecimiento vegetativo del ciclo productivo 2015. Se puede observar el máximo valor de PEH, que sucedió el día 11 de junio de 2015; el día 18 de junio las hojas alcanzaron su máxima expansión laminar y, al 25 de junio, los flujos vegetativos tuvieron su último incremento significativo de porcentaje relativo de crecimiento. Por lo anterior, y sabiendo que el peso específico de la hoja es un estimador de fotosíntesis (Secor, *et. al.*, 1982), cabe mencionar que el máximo crecimiento vegetativo foliar y de ramas, posterior al máximo PEH, supone una cierta actividad fotosintética que permitió alcanzar el crecimiento máximo de ambos órganos en días posteriores a máximas tasas de fotosíntesis.

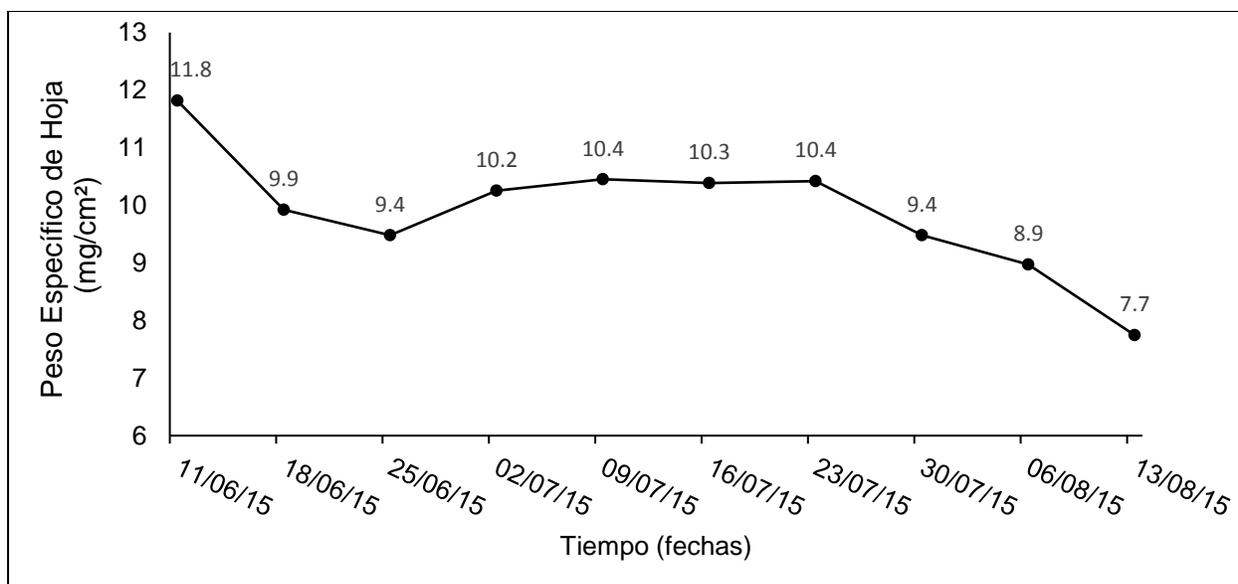


Figura 60. Peso Específico de Hoja durante el ciclo productivo 2015.

La evolución del PEH fue similar a la observada en árboles de ciruelo francés (*Prunus domestica*), donde fue hallado que las hojas de árboles en estados fenológicos lejanos a letargo tienen porcentajes de materia seca y peso específico más altos que aquellas hojas temporalmente cercanas al letargo (Hansen *et. al.*, 1982).

Del día 2 de julio al día 13 de agosto existió un descenso del PEH, mientras que ocurría una detención casi total del crecimiento flujos vegetativos. El área foliar descendía y la abscisión foliar progresaba. En este sentido, cabe recordar que el inicio de ecoletargo en los árboles de ciruelo japonés fue registrado el día 22 de septiembre, y al día 13 de agosto fue registrado el PEH más bajo, es decir, cuando más cercano estaba el ecoletargo.

Hansen *et. al.* (1982) atribuyeron este comportamiento a que la diferencia en pesos específicos es debida a la acumulación de almidón, que a su vez desplaza el agua. De ser así, entre más cercano era el ecoletargo en los ciruelos cv. Methley, las hojas conservaban menor cantidad de almidón debido probablemente a la acción del inicio de

abscisión foliar (iniciada desde el 26 de junio), fase en que ocurre el flujo reverso de savia para permitir la acumulación de carbohidratos en órganos permanentes (Reid, 1985), con la finalidad de que estos compuestos orgánicos estén disponibles para sostener la siguiente floración, emisión de follaje y fructificación (Ramírez, 1991). O bien, este descenso del peso estuvo relacionado con la edad de la hoja y su estado de desarrollo (Chaumont *et. al.*, 1994).

No se descarta influencia por parte de los portainjertos en el PEH, porque Nava y Villegas (1994), al comparar el comportamiento de cuatro portainjertos para cítricos en condiciones de vivero, encontraron diferencias en el PEH de los materiales, y podrían estar asociadas con variaciones en las tasas fotosintéticas o con diferencias estructurales, anatómicas y morfológicas inherentes a cada especie o genotipo.

De acuerdo a Horsley y Gottschalk (1993) y Chaumont *et. al.* (1994), la edad de la hoja y su estado de desarrollo son importantes para determinar procesos morfológicos y fisiológicos en las plantas. Por lo anterior, en el ciclo productivo 2016 se realizó el monitoreo de la evolución del PEH desde el último día de plena floración (Figura 61).

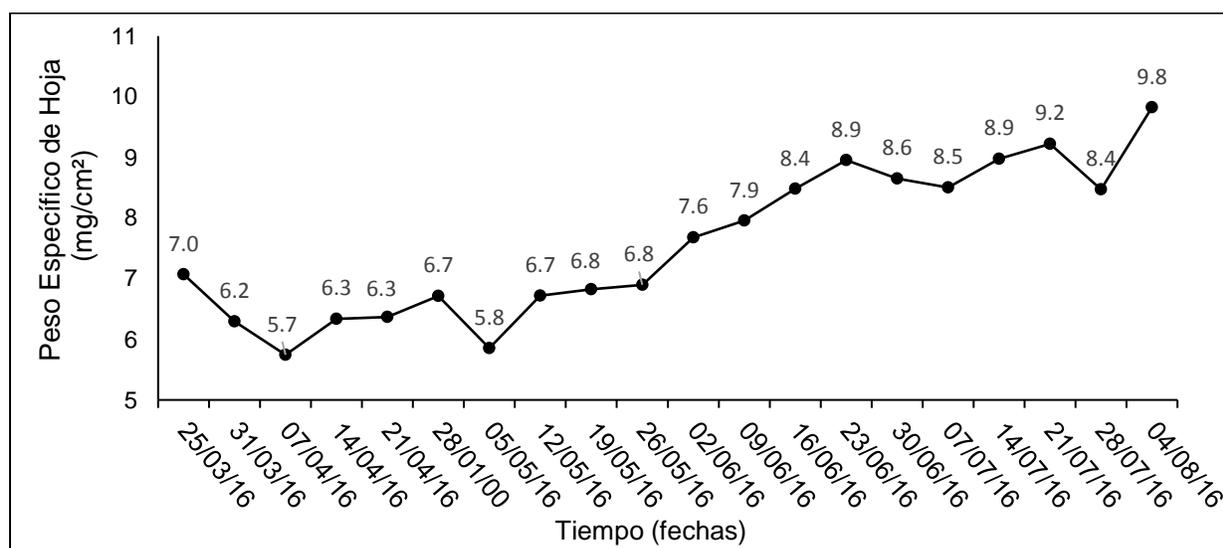


Figura 61. Peso Específico de Hoja durante el ciclo productivo 2016.

Al último día de plena floración, las hojas eran maduras puesto que ya había sucedido su transición de órganos demanda a órganos fuente, que generalmente inicia cuando la hoja está expandida a un 25% y se completa cuando la hoja está expandida entre un 40 y 50% (Taiz y Ziger, 2006).

Antes del 25 de marzo las hojas de ciruelo necesitaron reservas del árbol. Caso parecido a lo ocurrido en cítricos, especies en que las hojas durante los dos primeros meses de vida necesitan reservas del árbol, pues no elaboran lo que consumen (Ramírez, 1991).

Aunque en este trabajo se viene proponiendo que la floración en ciruelo cv. Methley es dependiente de las reservas de los árboles en órganos perennes, Reyes *et. al.* (2000) reportaron que en hojas de naranjo y tangerino los menores valores de PEH ocurrieron en el periodo de floración. En la presente investigación se observó que del 25 de marzo al 8 de abril, tiempo en que finalizó la fase fenológica de floración y, en general, iniciaba la etapa uno del crecimiento y desarrollo de frutos, existió el mayor descenso del PEH registrado hasta antes de iniciar la caída de hojas. Estos bajos pesos probablemente se debieron a que en este momento fenológico, las hojas maduras fueron la fuente de abastecimiento de nutrimentos para la fruta en desarrollo (Ramírez, 1991).

Del 9 al 29 de abril, mientras finalizaba la etapa uno de crecimiento y desarrollo de frutos, los valores de PEH tuvieron un incremento que los llevaría a ser parecidos a los registrados al momento en que las hojas iniciaron a ser maduras. Sin embargo, al día 6 de mayo, tiempo en que ocurría la segunda etapa del crecimiento y desarrollo de frutos, y, simultáneamente, había acumulación radical y crecimiento en los flujos vegetativos, el PEH volvió a ser casi tan bajo como lo había sido durante floración. Este comportamiento fue similar al reportado en *Persea americana* por Castillo (1996), quien observó que una disminución considerable del PEH atribuida al crecimiento vegetativo, floración y al amarre y desarrollo de frutos. Sin embargo, el bajo porcentaje de frutos desprendidos

(0.76%), durante la tercera caída, es posible haya sido determinado por el incremento del PEH durante esta etapa final del crecimiento de frutos.

Esta información es la pauta para futuras investigaciones y posteriores manejos del cultivo que tengan como objetivo ingeniar medidas agronómicas orientadas a mejorar el PEH durante las fases de floración y crecimiento y desarrollo de frutos. Es probable que esta disminución del PEH afecte perjudicialmente y de manera dual, junto a la roya (ver apartado caída y amarre de frutos), el bajo porcentaje de frutos inicialmente formados así como las dos primeras caídas de frutos.

El constante incremento del PEH del 7 de mayo al 24 de junio, fue concomitante a la tercera etapa del crecimiento de frutos, y abarcó las fases fenológicas de madurez fisiológica y de cosecha. Este suceso probablemente fue debido a la finalización del periodo temporal con la mayor cantidad de eventos fenológicos reproductivos y vegetativos de la especie. Este aumento de peso específico posterior a los valores más bajos puede ser debido a una tendencia cuyo objetivo es alcanzar el máximo PEH, situación que se relaciona con la maduración de las hojas y la acumulación de fotoasimilados (Castillo, 1996).

Conforme se acercaba el inicio de ecoletargo, la disminución de las temperaturas nocturnas pudo haber permitido la acumulación de carbohidratos (Chang, 1981) para sostener la siguiente floración, emisión de follaje y la nueva fructificación; por tanto, es necesario conservar las hojas del año para sostener el siguiente periodo de floración y el amarre de frutos (Ramírez, 1991).

En hojas de naranja cv. Valencia y tangerino cv. Dancy, los mayores valores de PEH ocurrieron en el periodo de octubre a enero en las tres variedades (Reyes, *et. al.*, 2000), época en la cual la planta debió acumular mayor cantidad de carbohidratos de reserva

para utilizarlos en la diferenciación floral, crecimiento vegetativo inicial y fructificación, tal como lo sugiere Ramírez (1991) en cítricos, y Marini y Sowers (1990) en manzano (*Malus pumila*), y Castillo (1996) en aguacate (*Persea americana*).

El PEH es afectado por la sombra, de manera que conforme ésta se incrementa el PEH decrece (Barden, 1978; Marini y Sowers, 1990). Específicamente hablando, en durazno el incremento de la intensidad y duración de la sombra provoca una reducción del PEH, en que las hojas jóvenes son las más afectadas (Marini y Sowers, 1990). Aunque no se conoce la magnitud, la nubosidad inherente a los meses de temporal pudo afectar la síntesis de materia seca por unidad de superficie foliar, en la que a nivel celular esta reducción ha sido atribuida a una menor cantidad de capas celulares del parénquima empalizada y a un tamaño celular más pequeño (Wooge y Barden, 1987).

4.3.2 Concentración de nitrógeno en hojas

Debido a que el nitrógeno se halla sólo por detrás del C, H y O en la contribución de masa en los seres vivos, y la mayor parte de éste elemento forma parte de aminoácidos y nucleótidos sintetizados en rutas dependientes de N (Nelson y Cox, 2009), fue importante analizar su contenido en las hojas de los árboles de ciruelo durante el transcurso de fases fenológicas.

La evolución de la concentración de nitrógeno en hojas durante el periodo de estudio pudo ser afectado tanto por el amoníaco o nitratos disponibles en el suelo (generalmente las únicas fuentes de nitrógeno), como por la estricta economía que las plantas hacen en el uso de macromoléculas sintetizadas con nitrógeno (Nelson y Cox, 2009). La Figura 62 muestra la concentración de nitrógeno en hojas durante la última etapa del periodo de crecimiento vegetativo del ciclo productivo 2015.

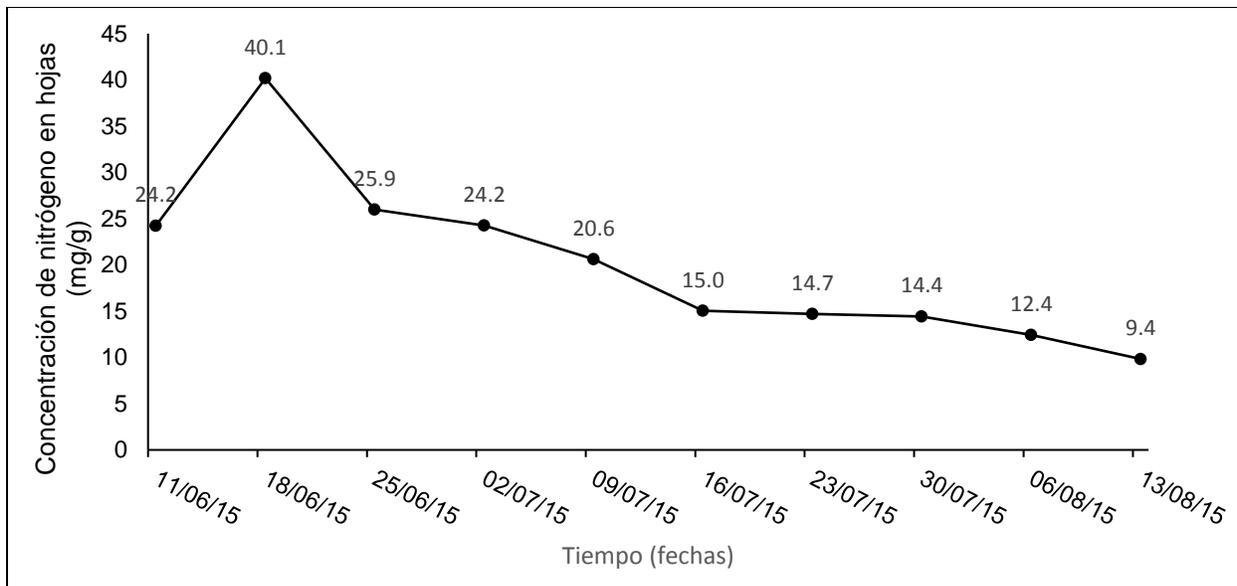


Figura 62. Concentración de nitrógeno en hojas durante el ciclo productivo 2015.

Del día 11 al 25 de junio de 2015, ocurrió la segunda mitad de la fase de madurez de cosecha de frutos así como el inicio de la fase fenológica “abscisión foliar”; durante estos días hubo un incremento y reducción de la concentración de nitrógeno en hojas. El máximo contenido de N, sucedido el 18 de junio, pudo ser debido a que la disponibilidad de nitrógeno, afectada por la cantidad de producción en el año (Lewis *et. al.*, 1964; Monselise *et. al.*, 1983), no fue de una magnitud tal que produjera un nivel más bajo de este elemento dentro de las hojas.

En el día 18 de junio, la máxima concentración de nitrógeno en hojas coincidió con el día en que las hojas expusieron su máxima área foliar. Se sabe que en la mayoría de los cultivos el N ocasiona incrementos en el área foliar (AF) y en el índice de área foliar (IAF) debido a un mayor número y tamaño de hojas (McCullough *et. al.*, 1994). Sin embargo, el máximo contenido de N no fue observado el día del mayor PEH, ya que sucedieron con siete días de diferencia, probablemente porque la acumulación de almidón en hojas había sido desplazada por agua (Hansen *et. al.*, 1982). Mientras estos sucesos fisiológicos ocurrían a mediados de junio, el crecimiento longitudinal de las ramas tenía

su último incremento significativo, que, de acuerdo con Pearman *et. al.*, (1977), pudo deberse al efecto que el N tiene sobre el crecimiento en tallos.

El paulatino descenso de los niveles de N en hojas registrado a partir del 25 de junio y hasta el día 13 de agosto, correspondió al tiempo que tomó el proceso de abscisión foliar; ya que al día 22 de septiembre (inició el ecoletargo) los árboles estaban completamente defoliados.

Es poco probable que durante el transcurso de la mayoría de fases fenológicas previas a las fechas ilustradas en la Figura 62, el contenido de nitrógeno en hojas haya sido bajo, puesto que nunca fueron observados síntomas visuales de deficiencia de N. Más bien, este contenido pudo descender en función de la cercanía de la fase de abscisión foliar, con la consecuente movilización de savia bruta y elaborada desde las hojas hacia los órganos permanentes (ramas, tronco y raíz) (Reid, 1985), para su almacenamiento durante otoño e invierno. Mientras tanto, el sistema radical comenzaría la mayor acumulación radical registrada durante el tiempo de estudio.

Una vez transcurrido el letargo, los árboles frutales caducifolios requieren, para su crecimiento foliar temprano y floración, nitrógeno derivado de la movilización desde órganos de almacenamiento (Sánchez, 2002). En este periodo el suministro foliar de nitrógeno orgánico puede ser benéfico si el nitrógeno obtenido y transportado recientemente por las raíces, es insuficiente para el requerimiento vegetal general, debido, entre otros factores, a bajas temperaturas del suelo, exceso de humedad o pobre crecimiento radical (Weinbaum *et. al.*, 1984).

La Figura 63, muestra que las concentraciones de nitrógeno en hojas son variables durante todo el periodo de crecimiento vegetativo y reproductivo. El primer estado estable de dicha concentración tuvo duración de una semana (24-31 de marzo), y correspondió a los dos últimos días de plena floración y toda la etapa de fin de floración. Esta

estabilidad seguramente se debió a que los árboles durante floración hicieron uso del nitrógeno derivado de la re-movilización desde órganos de almacenamiento (Sánchez, 2002), más no del nitrógeno contenido en hojas inmaduras y hojas inicialmente maduras.

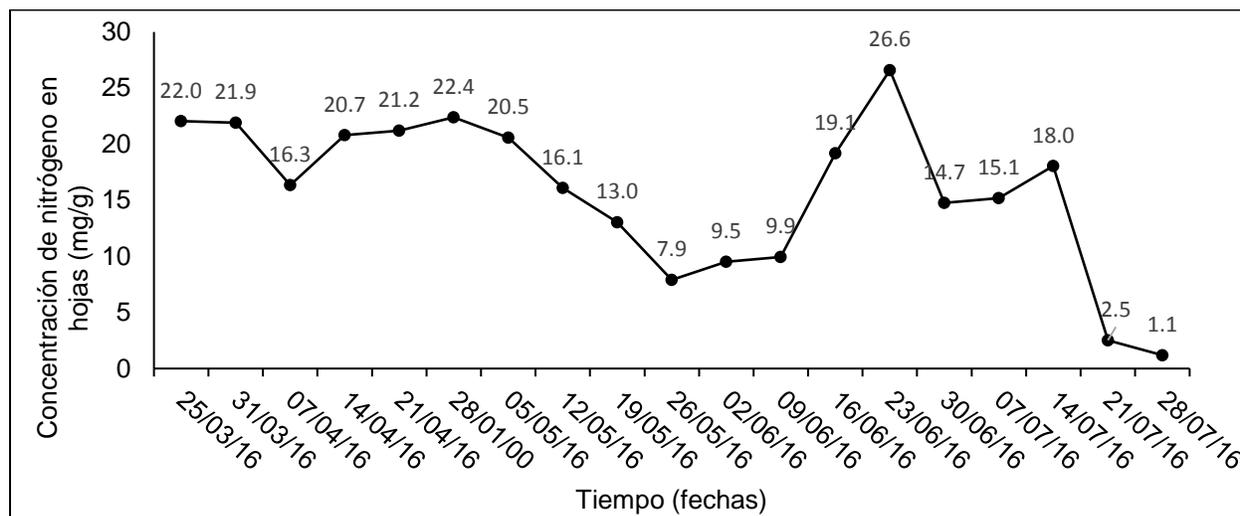


Figura 63. Concentración de nitrógeno en hojas durante el ciclo productivo 2016.

Del 24 al 31 de marzo, el área foliar también permaneció estable, hecho coherente si se toma en cuenta que el N determina la expansión foliar (Muchow, 1988). El peso específico de hoja tuvo su primer descenso, por acción del inicio del crecimiento de los flujos vegetativos, con el consecuente desplazamiento de almidón de las hojas maduras (Hansen, *et. al.*, 1982) hacia meristemos apicales. La acumulación radical a estas fechas tuvo un porcentaje de acumulación de biomasa muy bajo.

Después de este periodo de estabilidad en el contenido de nitrógeno, probablemente inició una actividad de abastecimiento de nutrimentos por parte de hojas maduras en su papel de órganos fuente; del 1 al 7 de abril se presentó el primer descenso de la concentración de nitrógeno en hojas simultáneo al inicio de crecimiento y desarrollo de frutos al incremento de la tasas de crecimiento de hojas y ramas, fases fenológicas que muestran ser la primera demanda de fotoasimilados y demás sustancias nutritivas por

parte de la planta hacia las hojas dentro del ciclo fenológico. El PEH continuaba descendiendo hacia uno de sus niveles más bajos registrados.

Del 8 al 28 de abril, mientras se completaba la etapa 1 del crecimiento y desarrollo de frutos e iniciaba la segunda etapa de crecimiento de éstos órganos, las hojas tuvieron una recuperación en sus niveles de nitrógeno. Cabe recordar que durante la segunda etapa de crecimiento y desarrollo de frutos, estos procesos tuvieron una disminución considerable debido a que se lignificó el endocarpio y creció el endospermo y el embrión (Jackson y Coombe, 1966). Esta reducción del crecimiento y desarrollo pudo ser la responsable del eventual incremento de N en hojas. Aunque los flujos vegetativos se encontraban ya en su máxima tasa de crecimiento, mientras que el AF y el PEH aumentaron.

El incremento de la concentración de N en hojas simultáneo al aumento de AF, PEH y flujos vegetativos, indica que el contenido de N en hojas es un factor determinante en la tasa fotosintética por unidad de área foliar, debido a que si tal contenido es alto, alta es la tasa fotosintética (Calderón *et al.* 1997), y, como consecuencia, se observa aumento del crecimiento vegetativo (Chandler, 1957) y de la expansión foliar (Muchow, 1988), a causa de un mayor número y tamaño de células (Hewitt, 1963).

Sin embargo, del 29 de abril al 26 de mayo ocurrió la mayor disminución del contenido de nitrógeno foliar, mientras que fue registrado el mayor incremento y el máximo alcance de área foliar y el PEH descendió e incrementó; en este intervalo temporal, se completó la segunda etapa de crecimiento y desarrollo de frutos, inició la tercera etapa de esta fase fenológica, los flujos vegetativos continuaban en la máxima tasa de crecimiento y el sistema radical reanudaba la acumulación de biomasa.

Este comportamiento de relaciones positivas y negativas, o bien, directa e inversamente proporcionales entre las variables fisiológicas en mención, requiere estudios específicos y detallados, que expliquen en total o mayor medida estas tendencias fisiológicas durante

las fases fenológicas involucradas. Sin embargo, de manera preliminar parece que existe una marcada influencia por parte, tanto del crecimiento y desarrollo de frutos, como de la detención de ambos procesos durante la segunda etapa de fructificación. Como antecedente al intento de comprender y dar respuestas precisas a estas incógnitas de interacciones fisiológicas, se tiene la idea externada por Ryugo (1988), quien afirmó que ha sido difícil establecer una correlación entre Fotosíntesis neta (Fn) y contenido de clorofila o de N en hojas, porque en condiciones de campo, la Fn fluctúa durante el día, mientras que los contenidos de N y clorofila en hojas permanecen prácticamente constantes; ahora se sabe que las relaciones entre AF, PEH y Contenido de Nitrógeno en Hojas, son directas o inversas, o bien, se puede suponer que guardan relaciones positivas y negativas, cambiantes, durante en el transcurso de la marcha de fases fenológicas en el cultivo de *Prunus salicina* cv. Methley injertado sobre *Prunus cerasifera* en condiciones climáticas de Montecillo, Texcoco, México.

Del 27 de mayo al 9 de junio, finalizó la tercera etapa del crecimiento y desarrollo de frutos. Sólo por un día no finalizó la fase fenológica de madurez fisiológica de estos órganos e inició la madurez de cosecha. Mientras tanto, la concentración de N en hojas, aunque permaneció relativamente constante, mostró sus niveles más bajos dentro de todo el ciclo productivo 2016, simultáneamente, las hojas redujeron sus dimensiones laminares, el PEH incrementó, los flujos vegetativos aún expresaban una máxima tasa de crecimiento. En tanto, el sistema radical continuaba aumentando sus porcentajes relativos de acumulación de crecimiento.

Los niveles bajos de N pudieron afectar el contenido de clorofila, biomolécula que capta la energía solar haciendo posible la fijación de CO₂, y que además está involucrada con la síntesis de moléculas que participan en el crecimiento celular (Villalobos, 2001), por lo cual las hojas redujeron sus áreas.

A partir del inicio de abscisión foliar (22 de junio) y en el último periodo del crecimiento de flujos vegetativos, hubo niveles inestables del contenido de nitrógeno en hojas. Mismo

resultado parcialmente reportado por Chandler (1957), quien afirmó que la acumulación de carbohidratos concomitante a la disminución de nitrógeno interno, sugiere la detención del crecimiento vegetativo.

Conforme los niveles de nitrógeno descendieron, la abscisión siguió su marcha, y dado que naturalmente la duración de láminas foliares es mayor en las plantas abastecidas con N (Novoa y Loomis, 1981), las hojas con bajo contenido de nitrógeno estaban cerca de su senescencia.

Estas observaciones permitirán diseñar un manejo nutricional que maximice los niveles de N, lo cual es necesario si se considera que más de 75 % del nitrógeno orgánico total se localiza en forma de enzimas en cloroplastos. Una deficiencia de este elemento tiene efecto directo en la síntesis de clorofila (Marschner, 1986); además, las plantas con mayor nivel de N presentan un color más verde en las hojas, y al medir el contenido de clorofila se puede estimar su contenido en la planta (Villar, 2003). De Jong (1982) observó que si el contenido foliar de nitrógeno es trazado contra la asimilación neta de CO₂ de hojas, existe una respuesta lineal acompañada de un incremento lineal de la conductancia del mesófilo foliar y la conductancia del vapor de agua.

4.3.3 Eficiencia en el Uso de la Radiación

Entre un 85 y 90% de la materia seca de las plantas es material de la fotosíntesis (Milthorpe y Moorby, 1982). En el presente análisis de la Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR), el manejo de agrónomo de los árboles (*e.g.* podas) pudo influir sobre este índice; Contreras, *et. al.* (2012) observaron que la intercepción y utilización de la radiación solar a nivel huerto fue un proceso que influyó en la producción de biomasa y rendimiento.

Como lo muestra la figura 64, la intercepción y utilización de Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi) por los 3.26 m² de superficie de palmetas por árbol, fueron dos procesos que permitieron a los árboles biosintetizar materia seca

foliar aún durante el tiempo en que estos se encontraban en la fase fenológica de abscisión foliar. El EUR tuvo una ecuación de regresión lineal $Y = 0.0015x + 93.362$, es decir, por cada unidad de aumento de micromoles de fotones incidentes sobre ambas palmetas de los árboles, el PEH aumentó en $0.0015 \text{ mg cm}^{-2}$. Este valor numérico muestra que la RFAi por el cultivo fue transformada en biomasa de forma tal, que la pendiente de la relación lineal entre ambas variables representó la Eficiencia en el Uso de la Radiación (Sicclair y Muchow, 1999).

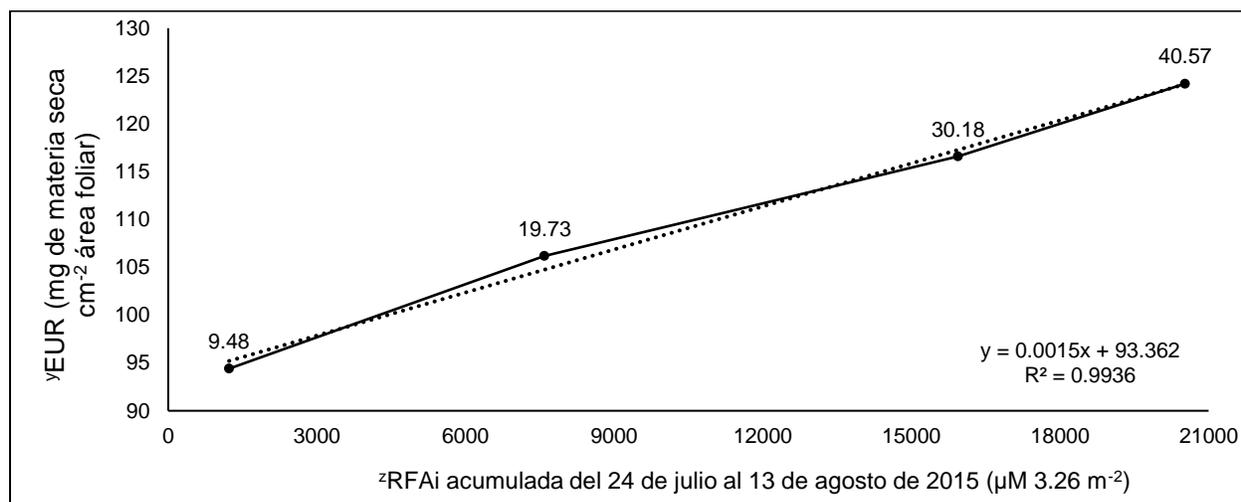


Figura 64. Eficiencia en el Uso de la radiación en ciruelo japonés cv. Methley injertado sobre ciruelo Miobolano durante abscisión foliar del ciclo productivo 2015 (^YEficiencia en el Uso de la Radiación; ^ZRadiación Fotosintéticamente Activa Interceptada).

Cabe resaltar la existencia de eficiencia en el uso de radiación aún durante la abscisión foliar, fase en que la que hojas pueden actuar regulando la senescencia; este último, es un proceso de degradación de pigmentos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, así como un proceso de reciclaje de los productos degradados hacia órganos de crecimiento activo, o bien, hacia órganos de reserva (Simón y Moysset, 2006), tal como se observó en la presente investigación

En 2016, desde el 25 de marzo (momento en que las hojas eran maduras) y hasta el día 22 de julio (un mes después del inicio de abscisión foliar), la RFAi acumulada hizo posible

la biosíntesis de materia seca foliar a razón de 0.0015 mg por cada micromol de fotones utilizados fotosintéticamente (figura 65). Este dato permitió corroborar la importancia que la RFAi tiene como fuente de energía para procesos biológicos de los cuales dependen los árboles para elaborar de carbohidratos mediante fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2002), durante los periodos de crecimiento y desarrollo vegetativo y reproductivo.

Haber observado durante la mayor parte el ciclo productivo 2016, una EUR igual a la obtenida durante la fase de abscisión foliar del ciclo productivo 2015, puede explicarse con base en que durante el periodo del 25 de marzo al 22 de julio de 2016 sucedieron las fases fenológicas plena y fin de floración, crecimiento y desarrollo de frutos, crecimiento foliar y madurez de cosecha, que, en conjunto, fueron grandes demandas que compitieron por fotoasimilados, y, además, determinaron la partición de metabolitos entre los diferente órganos de las plantas, dependiente de la posición y distancia a las fuentes, de su capacidad para atraer, acumular y utilizar fotoasimilados (Taiz y Zeiger, 2006). Esto evidenció la buena condición funcional de las hojas durante su aparición fenológica.

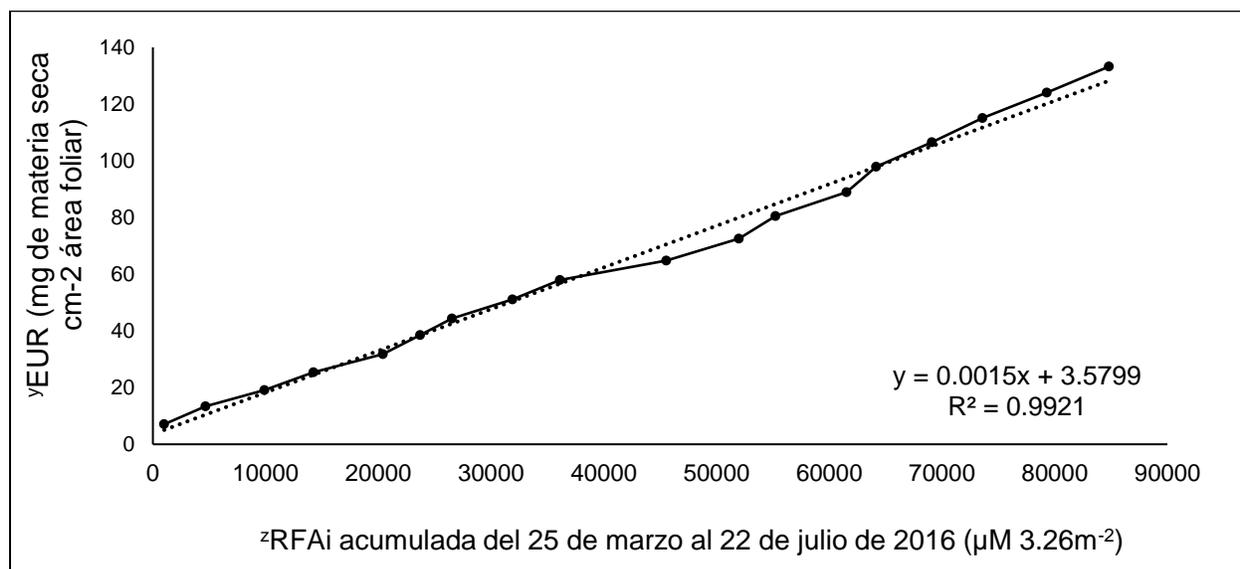


Figura 65. Eficiencia en el Uso de la radiación en ciruelo japonés cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirobolano durante el periodo de crecimiento vegetativo y reproductivo 2016 (1 Eficiencia en el Uso de la Radiación; 2 Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada).

Adicionalmente al abastecimiento de nutrientes al resto de los órganos durante el ciclo, las hojas también fueron capaces de seguir sintetizando materia seca semanalmente para el mantenimiento de su integridad.

Los 84825.936 μM de fotones de RFAi acumulados durante las fases fenológicas mencionadas, realizaron efectos fotoenergéticos (involucran la fotosíntesis) y fotoestimulantes (relacionados con el crecimiento y los movimientos násticos) (Salisbury y Ross, 1994), que junto a la densidad de población, impactaron en el desarrollo vegetativo y reproductivo, así como en el uso directo de los recursos, que incluyen los niveles de captura y utilización de la radiación solar, agua y nutrientes (Cárcova, *et. al.*, 2003).

También pudo corroborarse lo propuesto por Lee y Tollenar (2007), quienes afirmaron que la materia seca es el resultado de la intercepción y utilización de la radiación solar incidente sobre el dosel del cultivo durante su ciclo ontogénico.

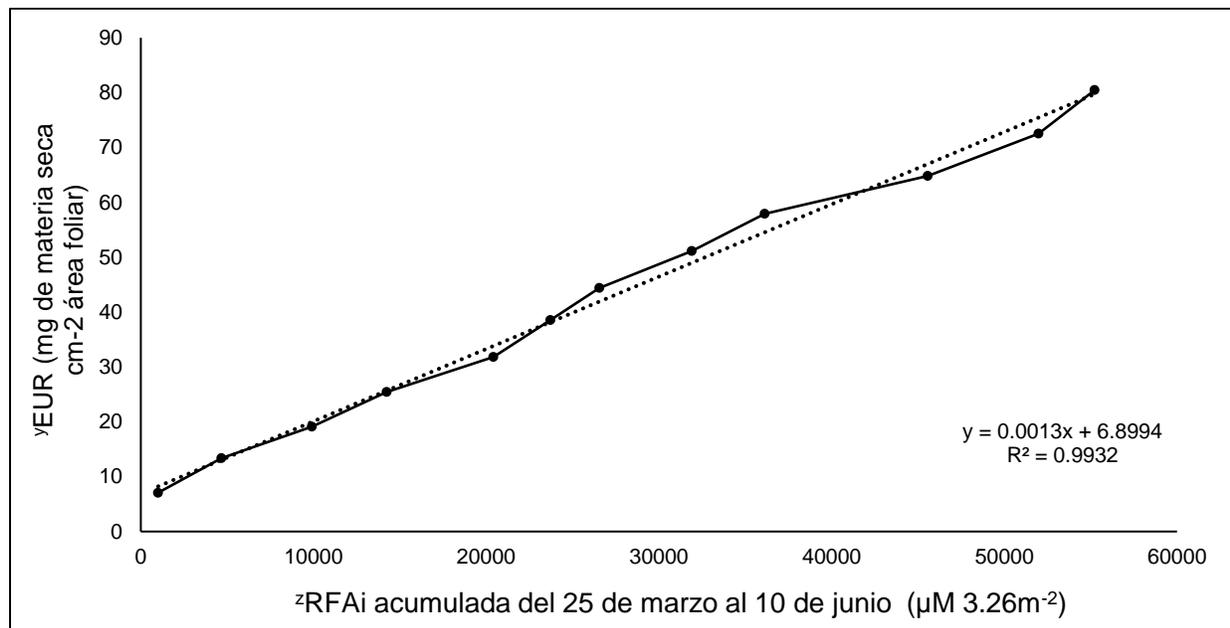


Figura 66. Eficiencia en el Uso de la radiación en ciruelo japonés cv. Methley injertado sobre ciruelo Mirololano durante crecimiento y desarrollo de frutos en 2016 (1 Eficiencia en el Uso de la Radiación; 2 Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada).

En la Figura 66, se observa que durante el crecimiento y desarrollo de frutos (24 de marzo-10 de junio), tiempo en que también ocurría el último día de plena floración, fin de floración, crecimiento de hojas y ramas, así como acumulación radical, la EUR varió para la síntesis de materia seca foliar, en comparación la EUR registrada durante el periodo de crecimiento vegetativo y reproductivo completo de 2016. Esto permite inferir que existen fases fenológicas en las que el uso de radiación es de mayor eficiencia y necesidad. En este sentido, la EUR con una ecuación de la forma $y = 0.0013x + 6.8994$, representa la variación de eficiencia durante fructificación debida a la complejidad de las interacciones que ocurren entre hojas raíces, tallos, flores y frutos porque algunos órganos actúan como fuente en un momento dado y como demanda en otro (Zmaski, 1996).

Además de haber impactado sobre la síntesis de materia seca foliar, la interceptación y la utilización de la radiación solar fueron dos procesos que, tal y como Monteith (1977) lo observó, afectan el rendimiento. Se conoce que la duración de ciclos ontogénicos y la capacidad de captura de radiación solar impactan la producción de materia seca y el rendimiento (Otegui *et. al.*, 1995). En este sentido, el PEH en hojas de *Malus domestica* fue positivamente relacionado con el porcentaje de flujos de fotones fotosintéticos (Barden, 1974), caso similar al aquí expuesto.

Aunque estos análisis ecofisiológicos son incipientes en ciruelo japonés cultivado en climas templados de altura, y posiblemente en la fruticultura, cabe la posibilidad de ampliar la investigación científica ecofisiológica hasta niveles en los que se lleguen a conocer estimadores fisiológicos tales como la Tasa de Asimilación Neta (TAN), que permitiría conocer la cantidad de biomasa acumulada en función del área foliar y el tiempo (Morales *et al.*, 2006), ya que, como Pearcy *et. al.* (1994), señalaron, la TAN es una medida de la eficiencia de las hojas para producir nuevo crecimiento vegetal y tiene mayor importancia que otras variables fisiológicas, como la tasa de crecimiento relativo (TCR).

4.4 Eficiencia de producción

Se calculó la eficiencia de producción con el objetivo de conocer el estado actual productivo de los árboles. Este cálculo será inicio de investigaciones futuras que permitan llegar a la producción potencial de los árboles. Es decir, llegar a la máxima producción de frutos esperable en las condiciones concretas del cultivo y para un determinado calibre de fruto. La producción está directamente relacionada con la capacidad de las hojas para elaborar fotoasimilados dado su potencial fotosintético, dependiente a su vez fundamentalmente de la disponibilidad de nutrientes, de agua y del estímulo que representa la presencia de frutos (Miranda y Royo, 2009).

La luz pudo afectar el rendimiento porque según Lakso y Barnes (1978), el tamaño regular de los árboles (palmetas con 1.92 y 1.69 m de longitud y anchura, respectivamente) y su sistema de conducción y podas provocan una mayor iluminación entre zonas del árbol aunado a la rápida respuesta de las hojas a la luz (5-15 s), donde hojas localizadas en el interior de las palmetas pudieron ser eficientes en la medida que incida algún rayo de luz. Otro factor de afección al rendimiento fue la temperatura, siendo óptima para ciruelo entre 25-30°C (Seeley and Kammereck -1977- y Agustí -2004-), mientras que la FN máxima se halla entre los 20-30° C con radiación RFA a saturación (Faust, 1989).

Durante el ciclo productivo 2015, las temperaturas medias diarias durante el periodo de crecimiento vegetativo y reproductivo de los árboles estuvieron siempre comprendidas entre los 12.55°C y 19.5°C; durante el ciclo productivo 2016, estas mismas temperaturas oscilaron entre los 12.55°C y 20.85°C. En ambos ciclos productivos, las temperaturas máximas diarias durante primavera y verano superaban los 25°C y eran más bajas a 30°C, simultáneamente, a la casi nula radiación transmitida.

Por otra parte, la disponibilidad de nitrógeno influye en el potencial fotosintético por una relación positiva entre el contenido de N en hoja y la fotosíntesis neta, aunque los aportes de N provocan mayor crecimiento vegetativo, lo que se traduce quizá en más sombra y

menor cantidad de carbohidratos disponibles para los frutos (Faust, 1989); durante el tiempo de estudio los árboles no tuvieron emboscamiento.

La disponibilidad de agua ejerce también un papel de primer orden, debido a que, cuando el potencial hídrico foliar es inferior a $-0,8$ MPa, la fotosíntesis se ralentiza drásticamente (Faust, 1989); empero, cabe recordar que el contenido de humedad permanente en suelo durante el estudio fenológico nunca llegó a PMP. Estos factores, en conjunto, hicieron la eficiencia de producción mostrada en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Eficiencia de producción de los ciclos productivos 2015 y 2016.

Árbol	Área de tronco	kg de fruta producida (2015)	kg de fruta producida (2016)	Eficiencia de producción en 2016 (g cm ⁻²)	Eficiencia de producción en 2016 (g cm ⁻²)
1	157.58	5.65	6.97	35.87	44.23
2	127.32	7.52	5.56	59.11	43.71
3	153.36	17.58	9.6	114.66	62.63
4	96.37	6.52	6.83	67.72	70.93
5	182.58	10.31	5.03	56.5	27.58
6	141.71	6.43	9.42	45.4	66.47
7	116.73	7.57	7.46	64.93	63.97
8	149.88	4.1	5.2	27.35	34.73
9	161.14	16.32	20.78	101.3	128.98
10	133.76	25.24	19.94	188.72	149.06
11	137.05	13.58	19.22	99.14	140.23
12	164.02	14.71	31.1	89.72	189.6
13	439.30	20.89	31.71	47.56	72.18
14	164.02	14	13.17	85.36	80.32
15	132.46	10.76	19.23	81.27	145.16
16	441.67	20.41	16.78	46.21	37.99
17	178.03	39.30	19.63	220.74	110.26
18	218.5	20.95	14.5	95.89	66.36
19	140.37	19.95	28.75	142.16	204.8
20	305.89	9.21	6	30.11	19.61

Con la realización de una prueba estadística de comparación de medias ajustadas por Tukey al nivel de significancia de 95% en SAS 9.0, la comparación de eficiencia de producción entre ambos ciclos productivos, señaló inexistencia de diferencias significativas entre las cosechas de ambos años. El estadístico de prueba $P_{r>F}$ tuvo valor de 0.8602, por lo que H_0 (la eficiencia de producción es similar en ambos ciclos productivos), no fue rechazada.

Con esta prueba, y sabiendo que los frutos estimulan la producción y el transporte de fotoasimilados desde las hojas, influyen en órganos fotosintéticos ubicados en las proximidades (20-50 cm), y que la proporción de fotoasimilados destinados a las raíces y a las partes perennes del árbol es menor cuanto que éstos soportan una carga de frutos mayor (Palmer *et. al.*, 1991), se puede afirmar la aparente inexistencia de alternancia de producción. Cabe destacar que el manejo del huerto fue similar en ambos ciclos productivos y las condiciones edafoclimáticas fueron semejantes de un año a otro. Asimismo, el diámetro del tronco no aumentó y las dimensiones de las palmetas del sistema de conducción fueron mantenidas del mismo tamaño mediante podas de formación realizadas a fin de letargo, específicamente los días 5 y 12 de febrero de 2016.

El correcto uso de riego pudo impactar favorablemente el rendimiento y calidad de los frutos, así como la acumulación radical permanente; con lo que se evitan afecciones negativas en frutos (Shock *et. al.*, 1998). Además, el rendimiento de los cultivos pudo ser afectado por la cantidad total de agua de lluvia en una estación específica (Shaxson y Barber, 2005).

El hecho de haber observado condiciones parecidas durante el crecimiento, desarrollo y la fenología general en ambos ciclos productivos, pudo representar demandas similares de fotoasimilados por parte de los frutos a las hojas, hojas crecidas incluso sobre una misma dimensión superficial de sistema a de conducción frutícola. Es decir, la relación fuente demanda en ambos años fue parecida; sin embargo, no puede descartarse que tener un bajo amarre de frutos es igual a una baja demanda de nutrimentos, condición que puede estar provocando la aparente ausencia de alternancia, y que sería una

condición deseable toda vez que los árboles tuvieran un porcentaje de amarre alto igual a 31%, clasificado como elevado o muy alto, según Cobianchi *et. al.*, (1989).

Cabe destacar la necesidad de elevar el porcentaje de amarre de frutos, para posteriormente aumentar tanto como sea posible el diámetro y peso de los mismos, para acercar el cultivo a su producción potencial evitando siempre el inicio de alternancia.

Es menester la realización de investigaciones postcosecha en los frutos de ciruelo cosechados de los árboles estudiados, especialmente estudios de las semillas, ya que la mayor parte de la formación de frutos depende de la formación de semillas y la semillas sintetizan las hormonas del crecimiento de los frutos (Jankiewicz, 2003). En las semillas, las auxinas son punto de atracción de nutrimentos y giberelinas, donde estas últimas en etapas de maduración temprana de los frutos causan el aumento de tamaño y dureza de los frutos, así como el retraso de la cosecha. Por su parte, las citocininas estimulan el crecimiento del fruto al hacer más activo tal proceso mediante la estimulación mitótica. Estos estudios podrían alcanzar la obtención de la producción potencial del cv. Methley en Montecillo, Texcoco, México.

4.5 Descripción relacional de variables fenológicas, fisiológicas y agrometeorológicas

La fenología describe los cambios que se producen en las plantas, y cómo estos cambios se ven afectados por las condiciones ambientales (García, *et. al.*, 2002) y fisiológicas. Estas afecciones son susceptibles de ser analizadas estadísticamente a través de coeficiente de correlación de Spearman, que en este caso fueron determinadas con el software SASstudio utilizando la instrucción "Proc Corr Spearman".

4.5.1 Crecimiento vegetativo

Los coeficientes de correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y contenido de nitrógeno en 2015 y 2016 fueron negativos, sus respectivos valores numéricos -1 y -0.55, permiten saber que el crecimiento longitudinal de ramas depende en medida significativa

del uso interno de nitrógeno, ya que mientras el crecimiento sucede la cantidad del elemento estructural disminuye en hojas.

El resultado anterior corrobora y permite conocer numéricamente la dependencia que el crecimiento vegetativo tienen con la contribución del ciclo interno del nitrógeno que participa en el metabolismo durante la época de crecimiento, dependiente en mayor medida del nitrógeno almacenado en los órganos perennes durante el invierno pasado (Millard Proe 1991; Neilsen *et. al.* 1997) y del suministro de nitrógeno generado en la primavera (Millard, 1997).

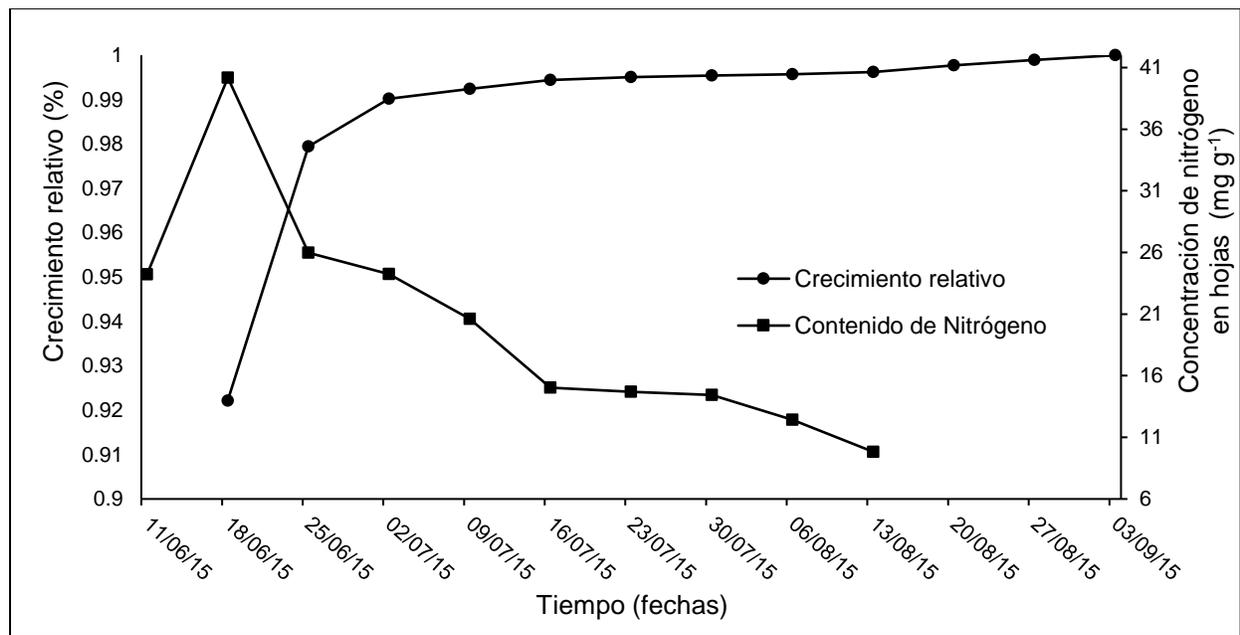


Figura 67. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y concentración de nitrógeno en hojas en 2015 (**Spearman= -1). **Altamente significativa.

El resultado anterior corrobora y permite conocer numéricamente la dependencia que el crecimiento vegetativo tienen con la contribución del ciclo interno del nitrógeno que participa en el metabolismo durante la época de crecimiento, dependiente en mayor medida del nitrógeno almacenado en los órganos perennes durante el invierno pasado

(Millard and Proe 1991, Neilsen *et al.* 1997) y del suministro de nitrógeno generado en la primavera (Millard, 1997).

El descubrimiento de esta dependencia “crecimiento vegetativo-N” realizado por los investigadores mencionados en el párrafo anterior, ahora tiene un valor de correlación de entre -1 y -0.55 (Figuras 67 y 68, respectivamente).

Estos coeficientes de correlación cuantifican y validan la afirmación relativa a que la detención de la elongación de los flujos vegetativos están altamente asociada a la disminución del contenido de nitrógeno en hojas (Chandler, 1957).

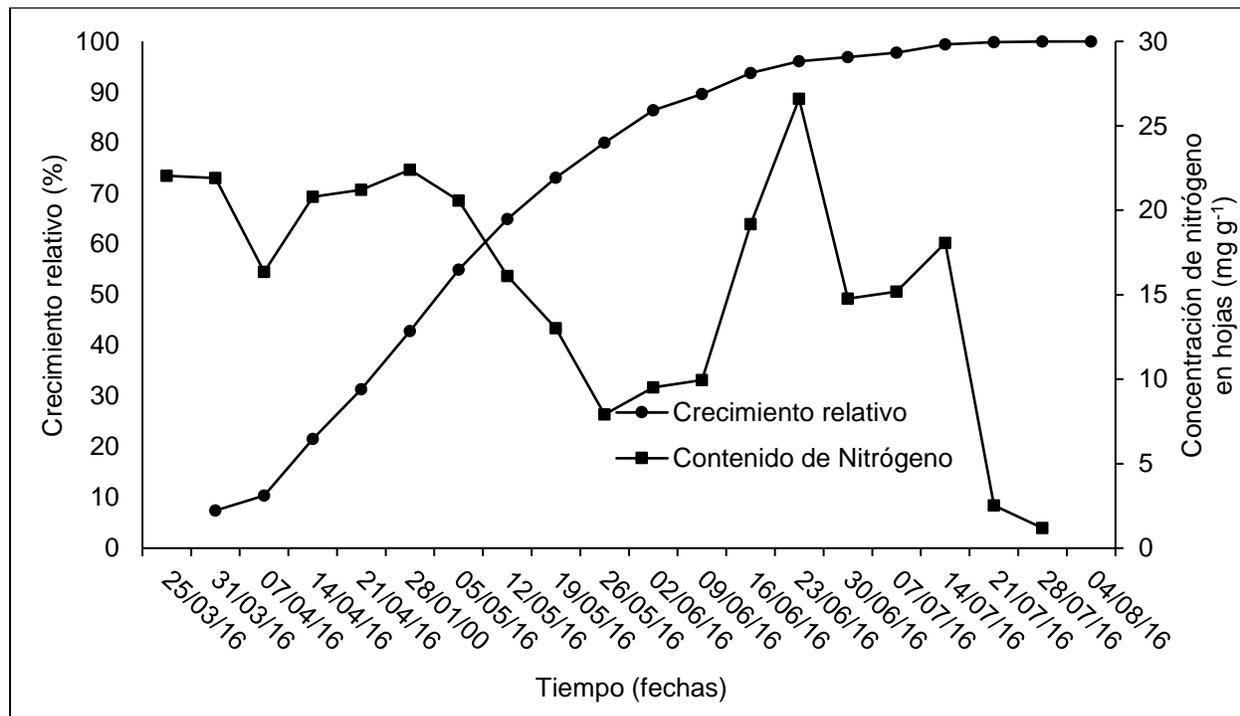


Figura 68. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y concentración de nitrógeno en hojas en 2016 (N.S. Spearman=-0.55). N.S. No significativo.

Por otra parte, fue determinado que el crecimiento vegetativo (flujos) está significativa y positivamente correlacionado con el PEH (Figura 69), con un grado de correlación de

0.94, siendo el Peso Específico de Hoja un estimador de la fotosíntesis a través de la producción de materia seca por unidad de superficie foliar (Secor, *et. al.*, 1982).

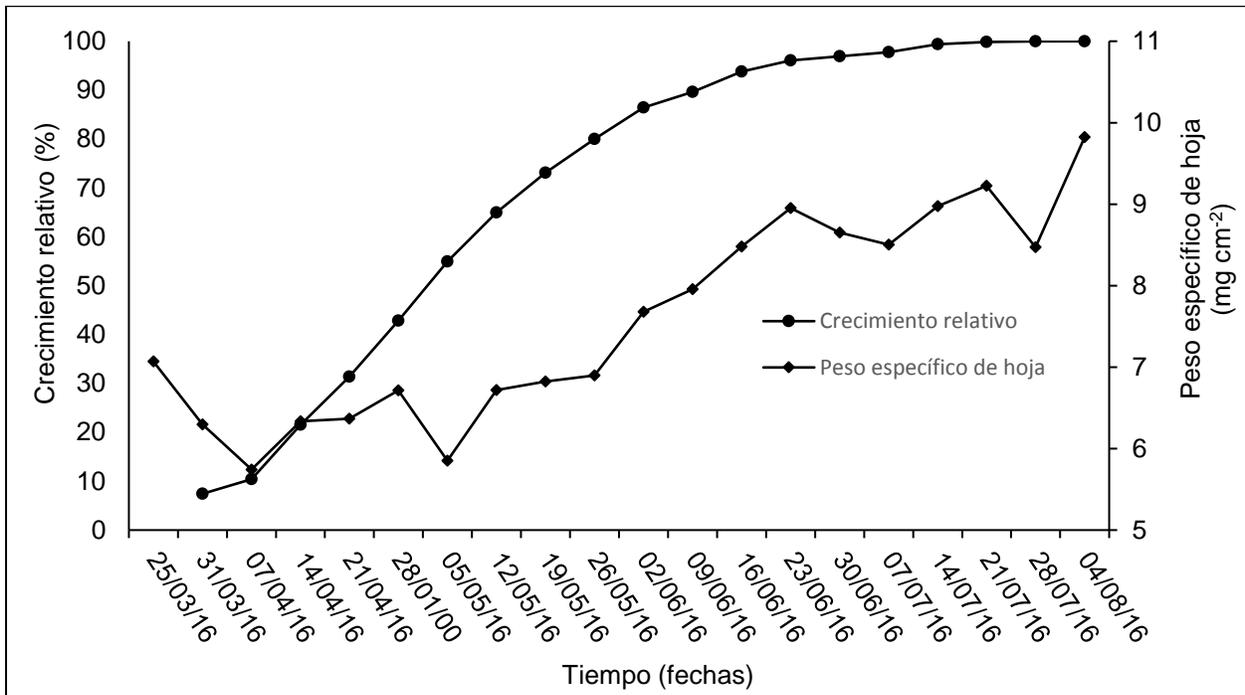


Figura 69. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y peso específico de hoja en 2016 (**Spearman= 0.94). Altamente significativa.

Se infiere entonces la casi total dependencia que el crecimiento de ramas tiene de la actividad fotosintética, por lo que cuidar los árboles por medio de podas, permite controlar el tamaño de árboles, así como evitar el exceso de densidad de ramas y hojas, para asegurar una correcta fotosíntesis, que, a su vez, genera más ramas en árboles, lo que conlleva a una necesidad de dependencia dual permanente.

En 2015, el último periodo de crecimiento de flujos vegetativos está correlacionado total y negativamente con la RFAi; es decir, la correlación entre estas variables es igual a -1 (Figura 70).

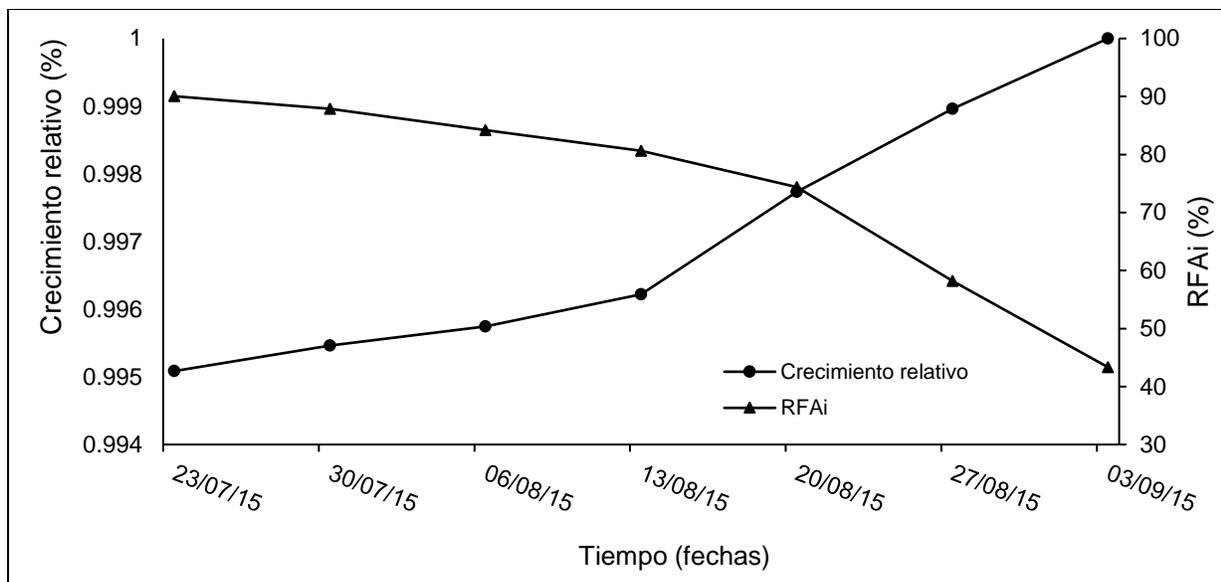


Figura 70. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi) en 2015 (**Spearman=-1). Altamente significativa.

En este periodo, aunque las hojas de las ramas comenzaban a ser amarillas y a caer, y por lo tanto descendía paulatinamente el porcentaje de interceptación de radiación, el restante interceptado fue importante para generar actividad fotosintética que, a su vez, permitió generar una acumulación de biomasa en función del área foliar fotosintética y del tiempo (TAN) (Morales, *at. al.*, 2006), que según Pearcy, *et. al.* (1994), es una eficiencia de las hojas para producir nuevo crecimiento vegetal. Esto quiere decir que existió crecimiento, aun cuando los valores de RFAi eran descendentes.

En contraparte, durante el periodo de crecimiento vegetativo de ramas en 2016, la correlación no fue significativa, pero sí fue positiva, entre esta variable y la RFAi (Figura 71). Es decir, aunque la RFAi determina la cantidad de MS sintetizada por los árboles, y su utilización propicia el crecimiento de órganos por medio de la generación de MS (Monteith, 1977), su uso, durante varias fases fenológicas, implicó la constitución de órganos, que pudo afectar (disminuir a 0.42) el grado de correlación entre las variables analizadas.

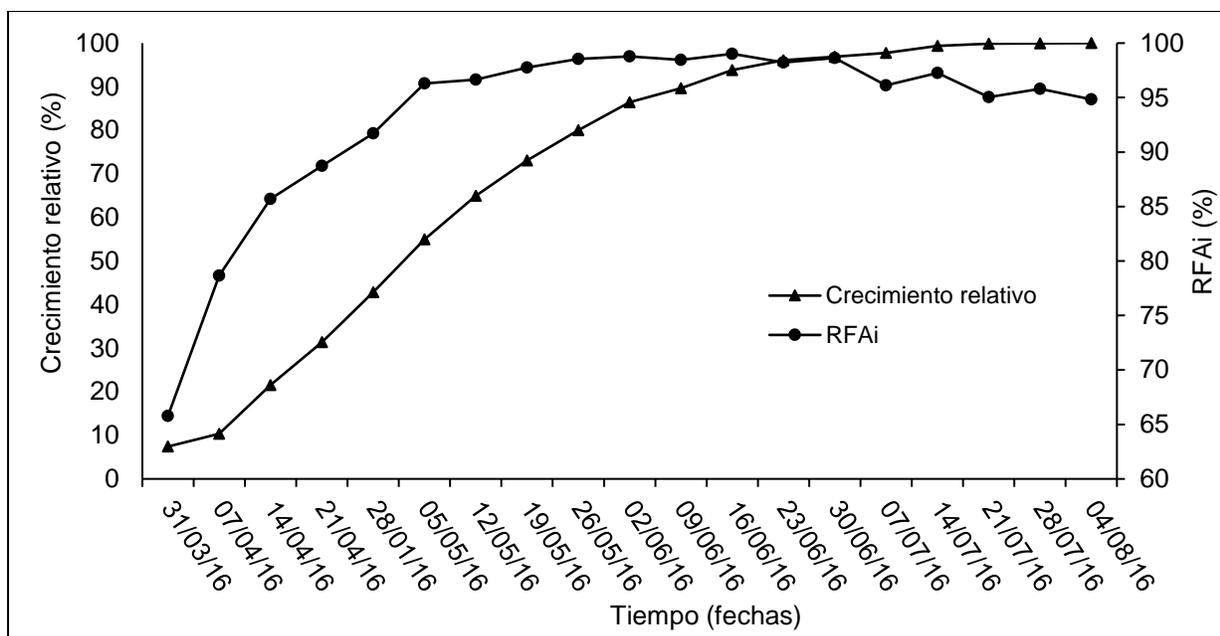


Figura 71. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi) en 2016 (N.S..Spearman= 0.42). N.S. No significativo.

4.5.2 Acumulación de crecimiento radical

Durante la determinación de coeficientes de correlación de la acumulación de crecimiento radical con el contenido de N, PEH, humedad y temperatura de suelo y crecimiento vegetativo, los valores numéricos de la pruebas de Spearman evidenciaron correlaciones no significativas (Ver lista de cuadros de apéndice). Ello implica una alta independencia del sistema radical a estas variables de estudio; por ejemplo, la acumulación del órgano subterráneo no tuvo valores de correlación significativos con la temperatura del suelo, aun cuando ésta era demasiado propicia para el estímulo de crecimiento radical.

Una propuesta de aproximación al entendimiento de la acumulación de crecimiento radical podría ser explicada por una probable influencia multifactorial del medio y condiciones internas hacia las raíces.

4.5.3 Foliación

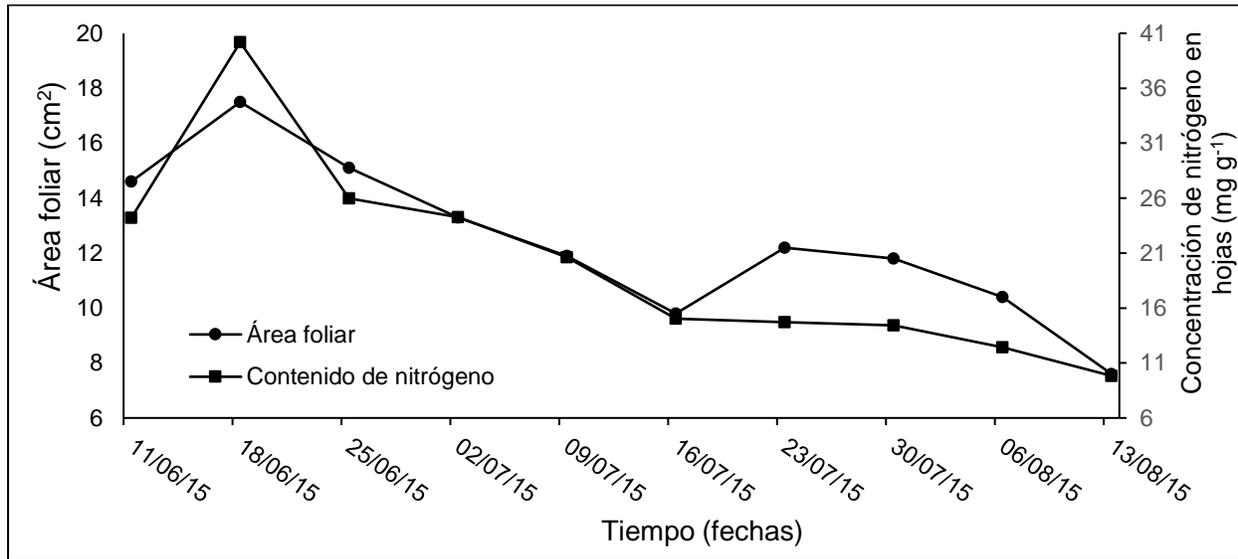


Figura 72. Correlación entre área foliar y concentración de nitrógeno en hojas en 2015 (**Spearman= 0.89). **Altamente significativa.

La figura 72 permite observar el fuerte grado de asociación positiva que el área foliar tienen con el N al final del ciclo de vida de los órganos fotosintéticos, explicado en gran medida por el hecho de que la acumulación de carbohidratos concomitante a la disminución de N interno sugiere la detención del crecimiento vegetativo (Chandler, 1957).

En la mayoría de los cultivos, el N ocasiona incrementos en el área foliar (McCullough *et. al.*, 1994); sin embargo, debido a la fluctuación de los valores de Área Foliar y concentración de N en hojas, durante el ciclo productivo 2016 se observó un coeficiente de correlación general negativo entre ambas variables fisiológicas. Como en el caso “concentración de N:RFAi”, es posible que el constante uso de nitrógeno por parte de los árboles durante los cuatro meses ilustrados en la gráfica, haya provocado que en ciertas fases fenológicas sus cantidades hayan sido usadas a un nivel tal, que hubo una disminución temporal de su contenido mientras las hojas crecían; sin embargo, este valor estadístico no implica en ningún caso una deficiencia nutricional, más bien, puede indicar

los momentos de mayor uso de nitrógeno y su tiempo de reabastecimiento por medio de la absorción radical de este elemento.

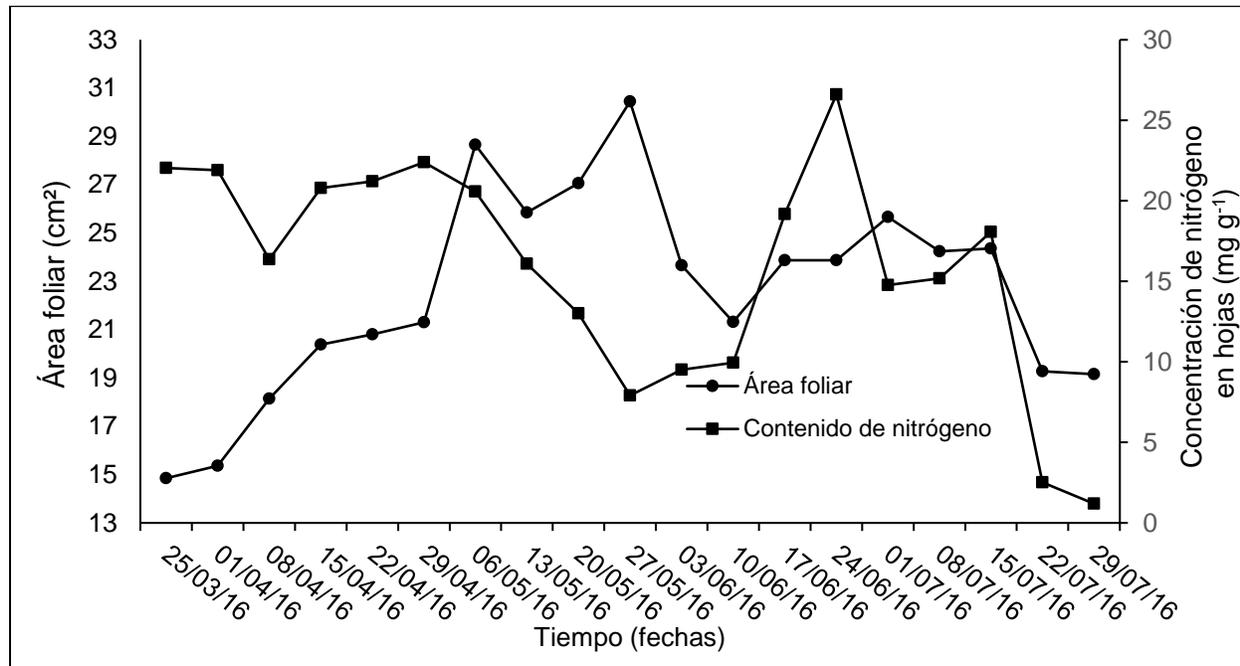


Figura 73. Correlación entre área foliar y concentración de nitrógeno en hojas en 2016 (N.S.Spearman= -0.23). N.S. No significativo.

La Figura 74, ilustra los aumentos y disminuciones del área foliar en relación con la RFAi. El coeficiente de correlación igual a 0.76, muestra la fuerte relación que existe entre la superficie foliar (AF) y la intercepción de radiación fotosintéticamente activa. Este grado de correlación es la cifra numérica de la aseveración de Warnock, *et. al.* (2006), que indica que el AF define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la RFA.

La capacidad para interceptar la radiación solar debido a la máxima magnitud del AF alcanzable (Boote *et. al.*, 2001; White, 1985), por parte de las hojas de los árboles, fue significativa, y, el valor de correlación hallado, permite asegurar que es importante un buen tamaño de superficie de limbo foliar para interceptar la mayor cantidad de radiación

posible, que, además de permitir la expansión foliar posterior, permitirá la intercepción de RFA que impacte el rendimiento (Otegui, *et. al.*, 1995).

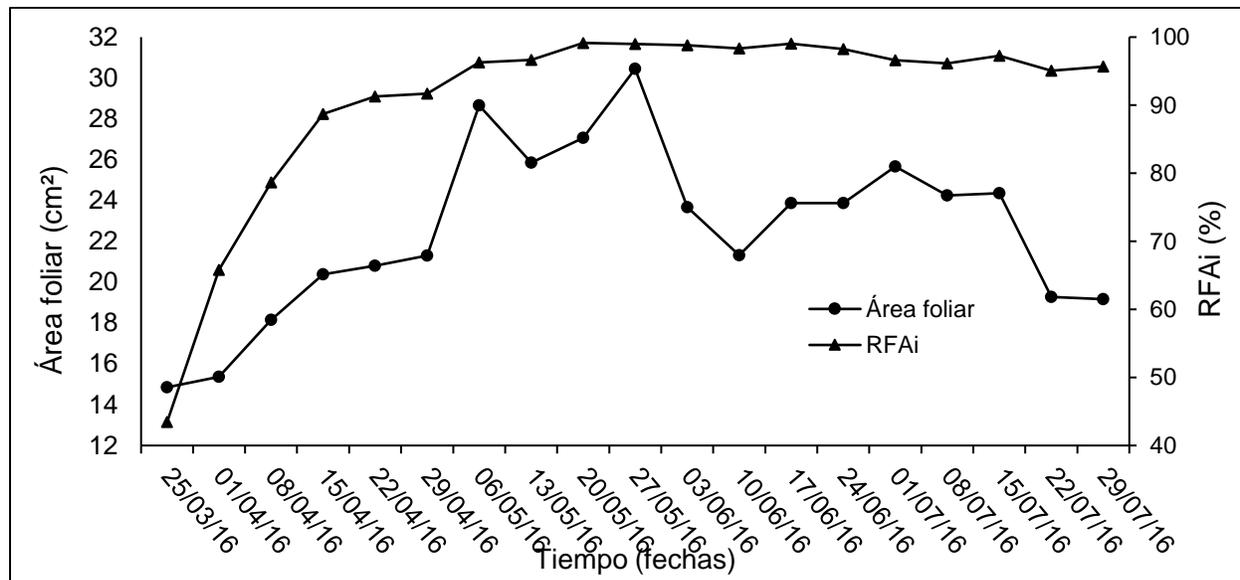


Figura 74. Correlación entre área foliar y Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada en 2016 (*Spearman= 0.76). *Significativa.

4.5.4 Crecimiento y desarrollo de frutos

La correlación expuesta en la Figura 75, muestra la fuerte demanda que los frutos hacen del N crecer; es natural que durante el crecimiento y desarrollo de estos órganos, la concentración de N en hojas vaya disminuyendo, ya que este elemento se halla sólo por detrás del carbono, hidrógeno y oxígeno en la contribución de masa en los seres vivos, y en su mayor proporción forma parte de aminoácidos y nucleótidos (Nelson y Cox, 2009).

El concentración de nitrógeno en hojas que permitió el crecimiento de frutos, fue también un factor determinante en la tasa fotosintética, ya que afecta positivamente esta actividad fisiológica (Calderón, *et. al.* 1997), con el consecuente aumento de crecimiento vegetativo (Chandler, 1957) a causa de un mayor número y tamaño de células (Hewitt, 1963), las cuales, propician un mayor volumen de órganos (McCullough, *et. al.*, 1994).

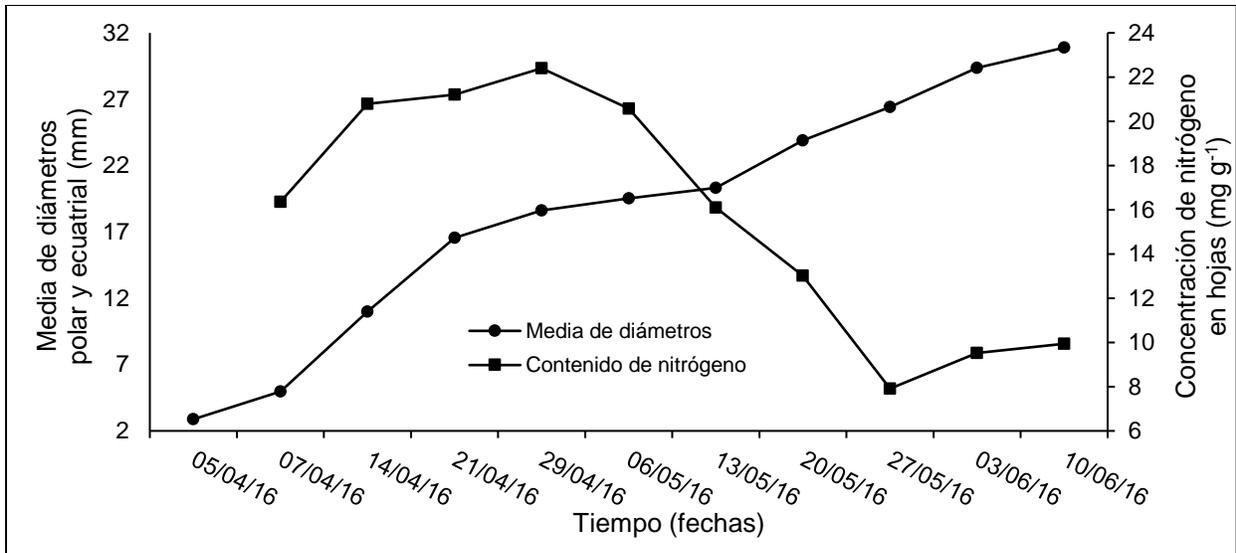


Figura 75. Correlación entre crecimiento y desarrollo de frutos y concentración de nitrógeno en hojas en el ciclo productivo 2016 (*Spearman= -0.78). *Significativa.

La figura 76 muestra que existió una fuerte asociación entre el PEH, que es un estimador de fotosíntesis a través de la producción de MS por unidad de superficie foliar (Secor, *et al.*, 1982), y el crecimiento de frutos, la cual tuvo una correlación de Spearman= 0.93.

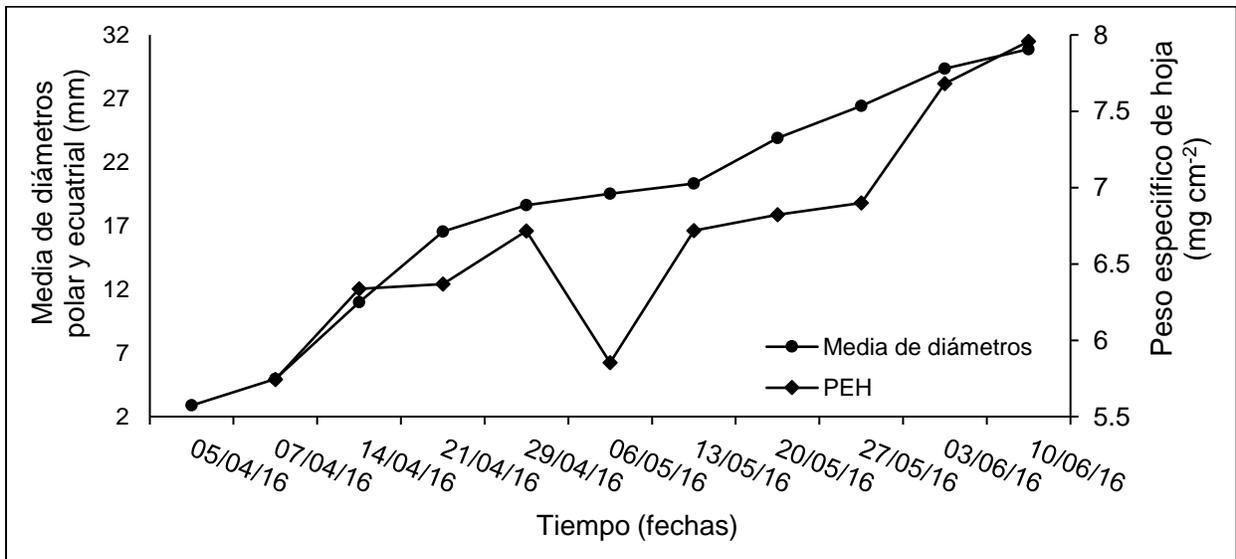


Figura 76. Correlación entre crecimiento y desarrollo de frutos y peso específico de hoja en el ciclo productivo 2016 (**Spearman= 0.93). **Altamente significativa.

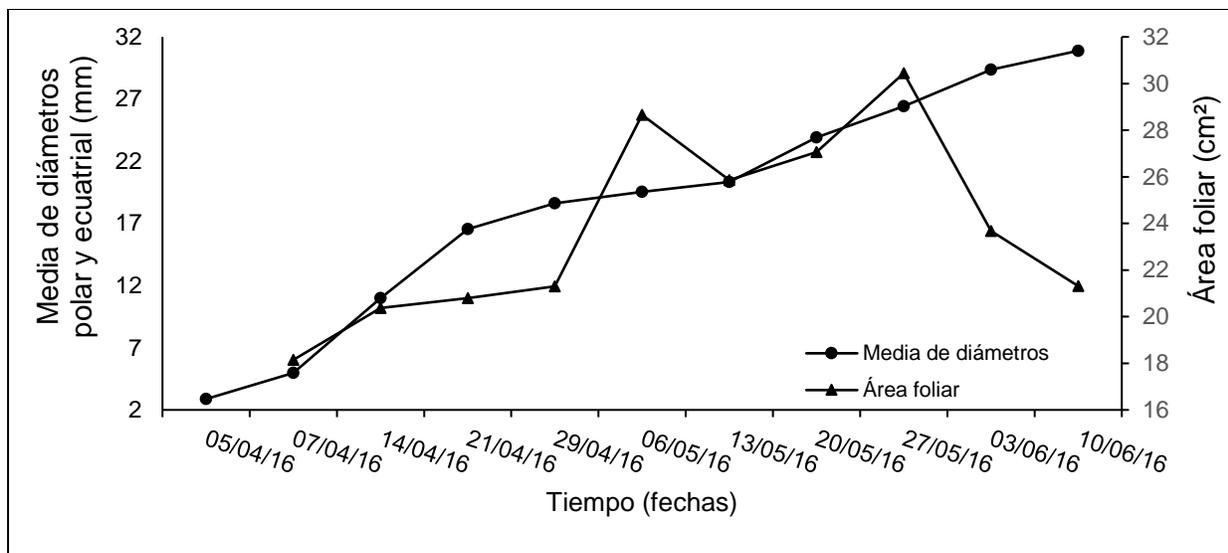


Figura 77. Correlación entre crecimiento y desarrollo de frutos y área foliar en el ciclo productivo 2016 (*Spearman= 0.66). *Significativa.

Como se observa en la figura 77, al igual que el PEH área foliar estuvo positiva y significativamente correlacionada con el crecimiento de frutos. Su valor de correlación con el coeficiente de correlación de Spearman arrojó un valor de 0.66, explicado en gran medida por el hecho de que la superficie foliar alcanzada durante ciertas fases del desarrollo es un factor fisiológico indispensable para cubrir demandas fotosintéticas que órganos vegetales ejercen para lograr crecer y desarrollar (Warnock, *et. al.*, 2006), así como a la implicación de una relación espacial entre hojas y frutos en la que múltiples relaciones hacen del AF un factor determinante en la forma de los frutos (Fishler *et. al.*, 1983).

Conociendo la importancia que el área foliar representa para la actividad fotosintética que permite el crecimiento de frutos, la generación de hojas nuevas es importante; así mismo es la relación existente entre el crecimiento de órganos y la elongación de flujos vegetativos, debido a que el crecimiento y desarrollo de los primordios foliares, así como la diferenciación de yemas axilares, se produce a medida que el meristemo apical progresa (Agustí, 2004), hecho particularmente importante, debido a que los flujos son imprescindibles para la cosecha por la producción de follaje (Salazar, 2010).

Esta última afirmación fue analizada en términos numéricos arrojando una total asociación entre el crecimiento de frutos y el crecimiento vegetativo de flujos (figura 78).

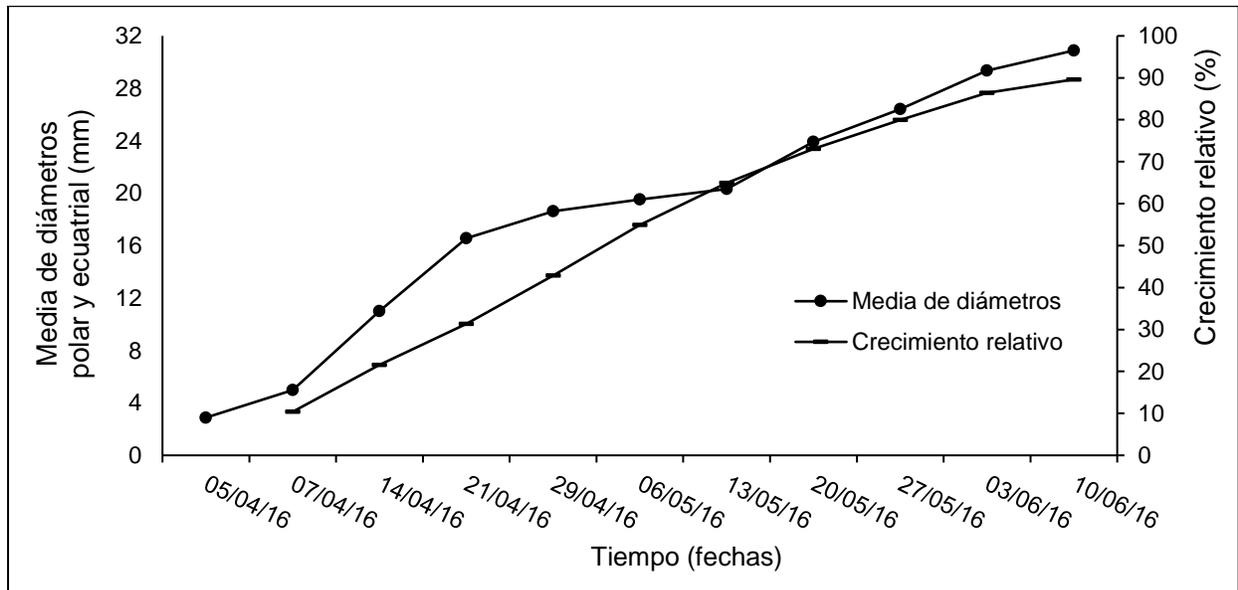


Figura 78. Correlación temporal entre crecimiento y desarrollo de frutos y crecimiento vegetativo (flujos) en el ciclo productivo 2016 (**Spearman= 1). **Altamente significativa.

V. CONCLUSIONES

Durante el tiempo de estudio hubo adecuadas condiciones tanto de humedad y temperatura del suelo como de temperatura del aire y radiación solar. En 2015 y 2016, el crecimiento vegetativo (flujos) comenzó a ser significativo en marzo y su intensidad disminuyó en julio. En 2015, el hinchamiento de yemas vegetativas y reproductivas ocurrió en enero y febrero, y en 2016 en febrero y marzo; la brotación de ambos tipos de yemas en 2015 sucedió en febrero, y en 2016 en marzo. En los dos años, el Área Foliar varió según las fases fenológicas presentes. La floración sucedió cuando las hojas aún eran inmaduras, y el crecimiento y desarrollo de frutos tomó 12 y 11 semanas en 2015 y 2016, respectivamente, y fue caracterizado por una curva doble sigmoide con tres etapas de crecimiento, y, durante cada etapa, tomó lugar la primera, segunda y tercera caída de frutos, respectivamente. La madurez fisiológica de frutos duró 10 días en ambos años y la madurez de cosecha sucedió principalmente en junio. En julio, la abscisión foliar fue iniciada por una infección de roya, seguida de la abscisión foliar correspondiente al inicio ecoletargo otoñal en septiembre de ambos años. Posteriormente, los árboles entraron a endoletargo, que en 2015 inició el 23 de octubre y serían acumuladas 235.8 UF que permitirían el hinchamiento de yemas en el siguiente ciclo productivo.

El ciruelo Mirobolano permanentemente produjo raíces a 40 cm de distancia horizontal al tronco y hasta 50 cm de profundidad. En general, durante letargo fueron halladas las proporciones de materia seca radical más altas; las proporciones de materia seca radical más bajas se observaron durante hinchamiento de yemas, plena floración y crecimiento y desarrollo de frutos. Los cuatro tipos de raíces presentaron mayor cantidad de materia seca a los 26-50 cm de profundidad. El mayor porcentaje de acumulación del crecimiento radical ocurrió durante el letargo e hinchamiento de yemas.

Lo modelos de Richardson *et. al.*, (1974) pero principalmente el de Vega *et. al.*, (1990), cuantificaron la cantidad de UF requeridas por el cultivar (150-250), sin embargo, el modelo de Shaltout y Unrath (1983) no cuantificó más de 65 UF.

En 2015, el último periodo del crecimiento de flujos vegetativos se correlacionó en medida totalmente negativa con la RFAi. En 2016, el AF y la RFAi, así como el crecimiento y desarrollo de frutos y el ÁF, tuvieron un significativo grado de asociación.

En 2015, la utilización de la RFAi permitió a los árboles biosintetizar MS foliar aún durante la abscisión foliar; en 2016, desde el momento en que las hojas eran maduras, y hasta un mes después del inicio de abscisión foliar, la RFAi acumulada hizo posible la biosíntesis de MS foliar. En 2015, el PEH fue más alto en hojas temporalmente lejanas al letargo; en 2016, durante la finalización de la floración e inicio de la etapa uno del crecimiento y desarrollo de frutos, existió el mayor descenso del PEH registrado hasta antes de la abscisión foliar. Se determinó que el PEH está significativa y positivamente correlacionado con el crecimiento vegetativo (flujos), así como con el crecimiento de frutos.

En 2015, la concentración de N en hojas descendió durante el proceso de abscisión foliar; en 2016, esta concentración fue estable durante plena floración y fin de floración, y su mayor disminución ocurrió cuando se registró la mayor AF, se completó la segunda etapa de crecimiento y desarrollo de frutos e inició la tercera etapa de esta fase fenológica, y los flujos vegetativos continuaban en la máxima tasa de crecimiento.

Los coeficientes de correlación de Spearman entre el contenido de N y el crecimiento vegetativo (flujos) en 2015 y 2016 fueron negativos. Una significativa correlación negativa fue observada entre la concentración de N en hojas y el crecimiento y desarrollo de frutos; se observó una correlación positiva entre el contenido de N y el AF.

VI. LITERATURA CITADA

- Agustí, M. 2003. Citricultura. 2da edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 33 p.
- Agustí, M. 2004. Fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España. p.p. 33, 62-63, 280-281, 284-285.
- Agustí, M., Almela, V., Pons, J. 1992. Effects of girdling on alternate bearing in *Citrus*. *Journal of Horticultural Science*, 67: 203-210.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 2000. Crops evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage paper. FAO. Rome, Italy. 329 p.
- Almaguer, V. G. 1986. Caracterización de cuatro cultivares de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl) en Chapingo, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 3 p.
- Almaguer, V. G., Rodríguez, A. J., Saucedo, V. C., Avitia, E. G. 1987. Caracterización de cuatro cultivares de ciruelo japonés, Methley, Shiro, Prune y Apple (*Prunus salicina* Lindl) en Chapingo, México. I. Evaluación fenológico y de auto e intercompatibilidad. *Agrociencia*, 68: 75-82.
- Almaguer, V. G. 1998. Principios de Fruticultura. 3ra edición. Universidad Autónoma Chapingo. Texoco, México. p.p. 81, 99.
- Andrade, C. G., da Silva, H. D., Ferreira, C. A., Bellote, A. F. G., Moro, L. 1995. Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. *Bosque*, 16(1):47-51.
- Arbor Day Foundation. 2016. Methley plum. *Prunus Salicina*. Consultado el 3 de abril de 2016. Disponible en: <https://www.arborday.org/trees/TreeGuide/TreeDetail.cfm?ItemID=907>
- Asseng, S., Foster, I., Turner, N. C. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17(2): 997-1012.
- Aspinall, D. 1986. Metabolic effects of wáter and salinity in relation to expansion of the leaf surface. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13:59-73.

- Azcón, B. J., Talón, M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Segunda Edición. McGraw Hill. Barcelona, España. p.p. 581, 630.
- Bangerth, F., Li, C., Gruber, J. 2000. Mutual interaction of auxin and cytokinins in regulating correlative dominance. *Plant Growth Regulation*, 32:205–217.
- Barden, J. A. 1974. Net photosynthesis, dark respiration, specific leaf weight, and growth of young apple trees as influenced by light regime. *Journal American Society of Horticultural Science*, 99: 547-551
- Barden, A. J. 1978. Apple leaves, their morphology and photosynthetic potential. *HortScience*, 13: 644-646.
- Barlow, P. W. 1986. Adventitious roots of whole plants: their forms, functions and evolution. *Developments in Plant and Soil Sciences*, 20:67-110.
- Becerril, R. A. E., Ibañez, M. A., Parra, Q. P. A. 2004. Effects of mulching, irrigation, and foliar fertilization upon growth, production and nutrient concentration of 'Agua Nueva II'. *Terra Latinoamericana*, 22:459-465.
- Becerril, R. A. E., Jaén, C. D., Parra, Q. R. A., Ibañez, M. A., Rebolledo, M. A., Gutiérrez R. N. 2009. El sistema radical, ¿'héroe desconocido' en la agricultura sostenible (especies frutales)'. *Agricultura Sostenible vol. 6*. Edit.: Universidad Autónoma de Chiapas y Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible. 12 p.
- Bellini, E., Bini, G. 1978. La fertilità nelle piante da frutto. Consiglio Nazionale Ricerche. Regione Emilia-Romagna. Società Orticola Italiana. Milano, Italian. p.p. 403-422.
- Black, M. W. 1947. Deciduous fruit varieties for the western Cape Province (of South Africa). *Farming in South Africa*, 22:645-656.
- Birch, C. J., Hammer, G. L. ., Rocker, K. G. 1999. Dry matter accumulation and distribution in five cultivars of maize (*Zea mays*): relationships and procedures for use in crop modeling. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50:513-527.
- Boote, K., Kropff, M., Bindraban, P. 2001. Physiology and modeling of traits in crop plants: Implications for genetic improvement. *Agricultural Systems*, 70:395-420.
- Bradford, K. J., Hsiao, T. C. 1982. Physiological responses to moderate water deficit. In: Lange, O. D., Nobel, P. S., Osmond, C. B., Ziegler, H. *Encyclopedia of Plant Physiology*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, p.p. 263–324.

- Brown, P. W. 2013. Heat Units. College of agriculture and life sciences. The university of Arizona. Tucson, Arizona. 1 p.
- Buban, T., Faust, M. 1982. Flower bud induction in apple trees: Internal control and differentiation. *Horticultural Reviews*, 4:174-203.
- Burgos, L. A. 1984. Fases fenológicas de cultivos tropicales y templados. Tirada Interna No. 3. Curso de Meteorología Agrícola (505). Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. p.p. 27-29.
- Bustamante, F. O. 1987. Diferenciación Floral y producción forzada en ciruelo japonés (*Prunus salicina* L. x *P. cerasifera* E.) cv. Methley en Chapingo, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 15 p.
- Caffarra, A., Donnelly, A., Chuine, I. 2011. Modelling the timing of *Betula pubescens* budburst. II Integrating complex effects of photoperiod into process-based models. *Climate Research*, 46:159–170.
- Calderón, A. E. 1977. Fruticultura general. El esfuerzo del hombre. Editorial ECA. México, D.F. p.p. 158-169, 227.
- Calderón Z., Rodríguez, A. J. G., Becerril R. A. E., Livera, M. M., Colinas, L. M. T. 1997. Fertilización foliar nitrogenada en la fotosíntesis y el desarrollo de durazno en producción forzada. *Agrociencia*, 31: 291-296.
- Calviño, P. A., Sadras V. O., Andrade F. H. 2003. Development, growth and yield of latesown soybean in the southern Pampas. *European Journal of Agronomy*, 19(2):265-275.
- Cárcova, J., Borrás, L., Otegui, M. E. 1995. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en maíz. In: Producción de Granos. Bases Funcionales para su Manejo. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, p.p. 132-157.
- Cassel, D.K., and Nielsen, D. R. 1986. Field capacity and available water capacity. In Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods.* American Society of Agronomy., Madison, Wisconsin, USA. p.p. 901-924.
- Castañón, C. M. 1980. Asistencia Técnica Programada en Base a Perfiles de desarrollo vegetativo. Banco de México, S. A. FIRA. México. p.p. 27-29.

- Castillo G. A. M. 1996. Fluctuación anual de carbohidratos y nutrimentos en relación al amarre de frutos de aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Colín V-33. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 137 p.
- Chalmers, D. J., Mitchell, P. D., Jerie, P. H. 1984. The physiology of growth control of peach and pear trees using reduced irrigation. *Acta Horticulturae*, 146: 142-149.
- Chalmers, D. J., Mitchel, P. D., Jerie P. H. 1985. The relation between irrigation, growth and productivity of peach. *Acta Horticulturae*, 173: 283-288.
- Chandler, W. H. 1957. *Deciduous Orchards*. 3rd Ed. Lea and Febiger. Philadelphia, U.S.A. 492 p.p.
- Chandler, W. H., Brown, D. S. 1951. Deciduous orchards in California winters. *California Agricultural Extension Service Circ*, 179: 1-38.
- Chang, J. 1981. Corn yield in relation to photoperiod, night temperature, and solar radiation. *Agricultural Meteorology*, 24:253-262.
- Chapman, H. D., Pratt, P. F. 1961. *Methods of analysis for soils, plants and waters*. University of California, Division of Agricultural Sciences. Berkeley, CA. 243 p.p.
- Chaumont, M., Morot-Gaudry, J. F., Foyer, C. H. 1994. Seasonal and diurnal changes in photosynthesis and carbon partitioning in *Vitis vinifera* leaves in vines with and without fruit. *Journal of Experimental Botany*, 278: 1235-1243.
- Childers, N. F. 1978. *Modern Fruit Science*. Rutgers University. New Jersey, U.S.A. p.p. 388-399.
- Chuine, I. 2000. A unified model for budburst of trees. *Journal of Theoretical Biology*, 207: 337-347.
- Climate-data.org. 2015. Clima: Texcoco. Disponible en: <http://es.climate-data.org/location/28088/> Consultado el 17 de diciembre de 2015.
- Cobianchi, D., Bergamini, A., Cortesi, A. 1989. El ciruelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. p.p. 40, 142-143
- Cobianchi, D., Rivalta, F.W., Batelli. 1978. Ricerche sulla fertilità delle cultivar di susino. *Cinogiapponese. Riv. Ortoflorofrutt*, 62(5): 573-575.
- Cohen, M. 1994. Producción y economía de frutos secos. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaries (IRTA). Barcelona, España. 135 p.p.

- Contreras, R. A., Martínez, R. C. G., Estrada, C. G. 2012. Eficiencia en el Uso de la Radiación por híbridos de maíz de Valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2):161-169.
- Cossio, V. L. E., Salazar, G. S., González, D. I. J. L., Medina, T. R. 2008. Fenología del Aguacate 'Hass' en el Clima Semicálido de Nayarit, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(3): 325-330.
- Crane, I. C. 1964. Growth substances in fruit setting and development. *Annual Review of Plant Physiology*, 15:303-326.
- Crisosto, C. H., Garner, D., Crisosto, G. M., Bowerman, E. 2004. Increasing 'Blackamber' plum (*Prunus salicina* Lindell) consumer acceptance. *Postharvest Biology and Technology*, 34: 237-244.
- Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. With a new foreword by Armen Takhtajan. Columbia University Press. New York, U.S.A. p.p. 499-501.
- Cuevas, R. V., Baca del M. J., Cervantes E. F., Aguilar, Á. 2012. Technical assistance in the farming sector in Mexico: analysis of the 8th farming and forestry census. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(5): 1-7.
- Davis, L. D. 1957. Flowering and alternate bearing. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 70:545-556.
- De Fina, A. L., A. C. Ravello. 1973. *Climatología y fenología agrícolas*. EUDEBA. Buenos Aires, Argentina. p.p. 201-224.
- De Jong, T. M. 1982. Leaf Nitrogen Content and CO₂ assimilation Capacity in Peach. *Journal American Society of Horticultural Science*, 107(6): 955-959.
- Del Ángel, J. J. E., Tijerina C, L., Acosta H. R., López, J. A. 2001. Plum Production with Fertigation in Function Moisture Contents and Organic Mulches. *TERRA*, 9(4): 317-326.
- Ditutor.com. 2014. Correlación estadística. Tomado el 25 de octubre de 2015. Disponible en: http://www.ditutor.com/estadistica_2/correlacion_estadistica.html
- Enstone, D. E., Peterson, C. A., Ma. F. 2003. Root endodermis and exodermis: Structure, function and responses to the environment. *Journal Plant Growth Regulation*, 21:335-351.

- Erez, A., Lavee, S. 1971. Effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. 1. Temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 96: 711–714.
- Eshel, A., Beeckman, T. 2013. *The plant roots: The Hidden Half*. 4th ed. CRC Press. Florida, U.S.A. p.p. 1-8.
- FAO. 1997. Zonificación agroecológica. Guía general. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. p.p. 16, 20.
- Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. John Wiley & Sons. New York, U.S.A. 338 p.p.
- Faust, M., Erez, A., Rowland, L. J., Wang, S. Y., Norman, H. A. 1997. Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. *Hortscience*, 32: 623–629.
- Fernández, E. R. 1996. *Planificación y diseño de plantaciones frutales*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. p.p. 17, 22, 45.
- Fishler, M., Goldschmidt, E. E., Monselise, S. P. 1983. Leaf area and Fruit size on Girdled Grapefruit Branches. *Journal American Society Horticultural Science*, 108(2):218-221.
- Font, Q. P. 1982. *Diccionario de botánica*. Ed. Labor. Barcelona, España. p.p. 461-462.
- Forsythe, W. 2002. Parámetros ambientales que afectan la temperatura del suelo en Turrialba, Costa Rica y sus consecuencias para la producción de cultivos. *Agronomía Costarricense*, 26(1): 43-62.
- Gallo, W. P., Daughtry, C. S. T. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in crop canopies. *Agronomy Journal*, 78:752-756.
- Gamboa, W. 2005. *Producción agroecológica: una opción para el desarrollo del cultivo del Chayote*. Editorial de la universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 15 p.
- García, C. S., Yagüe, B., Bleiholder, H., Hack, H., Meier, U., Agustí, M. 2002. Phenological growth stages of the persimmon tree (*Diospiros kaki*). *Annals of Applied Biology*, 141(1):73-76.

- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema Climático de Köppen. 4ta ed. Instituto de Geografía. UNAM. 217 p.p.
- Gavande, S. 1973. Física de suelos: Principios y aplicaciones. LIMUSA–WILEY, S.A. 1a reimpression. México D. F. México. 351 p.p.
- Geiss, G., Gutierrez, L., Bellini, C. 2009. Adventitious root formation: new insights and perspectives. *Annual Plant Review*, 37:127-156.
- Goldschmidt, E. E., Golomb, A. 1982. The carbohydrate balance of alternate bearing citrus trees and the significance of reserves for flowering and fruiting. *Journal American Society of Horticultural Science*, 107:206-208.
- Google Maps. 2015. Maps. Disponible en: <https://www.google.com.mx/maps/> Consultado el 20 de noviembre de 2015.
- Gutiérrez R., N., Tijerina-Ch. L., Becerril-R. A. E., Castillo-M. A., López-C. C., y Peña-V. C. B. 2006. Régimen de humedad, portainjerto, manejo de suelo y producción forzada en el desarrollo radical de duraznero. *Terra Latinoamericana*, 24(1): 37-46.
- Hansen, P., Ryugo, K., Ramos, D. E., Larry, F. 1982. Influence of Cropping on Ca, K, Mg and Carbohydrate Status of “French” Prune Trees Grown on Potassium Limited Soils. *Journal American Society of Horticultural Science*, 107(3): 511-515.
- Heide, O.M. 2008. Interaction of photoperiod and temperature in the control of growth and dormancy of *Prunus* species. *Scientia Horticulturae*, 115: 309–314.
- Hewett, W. E., Young, K. 1980. Water sprinkling to delay bloom in fruit trees. *New Zeland Journal of Agricultural Research*, 23: 523-528.
- Hewitt, E. J. 1963. The essential nutrient elements requirements and interaction in plants. In: F.C. Steward (ed.). *Plant physiology* Vol. III. Academic Press, New York. U.S.A. p.p. 137-362.
- Hinojosa, C. 1979. Fenología. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. Boletín Técnico No. 3, 61 p.p.
- Hodge, A. 2006. Plastic plants and patchy soils. *Journal of Experimental Botany*, 57: 401-411.
- Horsley, S. B., and Gottschalk, K. W. 1993. Leaf area and net photosynthesis during development of *Prunus serotina* seedlings. *Tree Physiology*, 12: 55-69.

- Idrovo, B. D. I. 2008. Programación de la producción de ciruelo (*Prunus salicina* L.) cultivar “corazón rojo” para ampliar el periodo de cosecha, con la aplicación de DNOC, en el Cantón Gualececo, provincia del Azuay. Tesis de Ingeniería agronómica. Universidad Católica de la Cuenca. Cuenca, Ecuador. p.p. 3, 11-12.
- Jackson, D. I. 1969. Effects of water, light and nutrition on flower bud initiation in apricots. *Australian Journal of Biological Sciences*, 22: 69-75.
- Jackson, D. I., Coombe, B. G. 1966. Morphological changes during development and the effects of various tree factors. *Australian Journal of Agricultural Research*, 17: 465-477.
- Jackson, D. I., Sweet, G. B. 1972. Flower initiation in temperate woody plants. *Horticultural Science Abstracts*, 42: 9-24.
- Jackson, T. H. 1947. The home orchard (in the Kenya Highlands). *Experimental African Agriculture Journal*, 12:153-166.
- Jeankiewicz, L. S. 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Propiedades y acción. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 487 p.p.
- Juscafresa, B. 1997. Nuevas técnicas Agronómicas. Melocotonero, Albaricoquero, Ciruelo y Cerezo. 3ra edición. Ed. Serrahina y Urpi S.L. Barcelona, España. p.p. 60-64.
- Kolesnikov, V. 1971. The root system of fruit plants. Mir Publishers. Moscow. 287 p.
- Lakso, A. N., Barnes, J. E. 1978. Apple leaf photosynthesis in alternating light. *Horticultural Science*, 13: 473-474.
- Lang, G. A., Early, J. D., Martin, G. C., Darnell, R. L. 1987. Endo, para, and ecodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research. *Hortscience*, 22: 371-377.
- Largaespada, K., Henríquez, C. 2015. Distribución espacial de la humedad y su relación con la textura en un suelo. *Agronomía Costarricense*, 39(3): 137-147.
- Lee, E. A., Tollenaar, M. 2007. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Science*, 47(Suppl. 3): S202-S215.
- León, G. A. G. 1994. Primera aproximación al ciclo fenológico del ciruelo (*Prunus salicina* Lindl.) cv. Songold en la zona de San Felipe, quinta Region, Chile. Universidad

- Católica de Valparaíso. Valparaíso Chile. En: Base de Información Bibliográfica Agrícola Chilena, INIA. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BIBACL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=018513>
- Lewis, L. N., Coggins, C. W., Hield, H. Z. 1964. The effect of biennial bearing and NAA on the carbohydrate and nitrogen composition of Wilking Mandarin leaves. *Proceedures of American Society for Horticultural Science*, 84: 147–51.
- Ley, T. W. 1994. Soil water monitoring and measurement. In: Williams, K.M. and T.W. Ley (Eds.) *Tree Fruit Irrigation. Good Fruit Grower*. Yakima, Washington, USA. p. 51-64.
- Li, C.Y., Weiss, D., Goldschmidt, E. E. 2003. Girdling affects carbohydrate related gene expression in leaves, bark and roots of alternate bearing citrus trees. *Annals of Botany*, 92: 137–43.
- Lieth, J., Reynolds, J. 1984. A model of canopy irradiance in relation to changing leaf area in a phytotron-grown snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. *International Journal of Biometeorology*, 28(1): 61-71.
- López, M.A., Chaves, B., Flórez, V.J., Salazar, M.R. 2010. Modelo de aparición de nudos en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Delphi cultivado en sustratos. *Agronomía Colombiana*, 28(19): 47-54.
- Malamy, J. E. 2005. Intrinsic and environmental response pathways that regulate root system architecture. *Plant Cell Environ*, 28: 67-77.
- Marini, R. P., Sowers, D. L. 1990. Net photosynthesis, specific leaf weight and flowering of peach as influenced by shade. *HortScience*, 25: 331-334.
- Martínez, A. B., Iglesias, D.J., Reig, C., Mesejo, C., Agustí, M., Primo-Millo, E. 2015. Carbon utilization by fruit limits shoot growth in alternate-bearing citrus trees. *Journal of Plant Physiology*, 176: 108-117.
- Martínez, F. J. L. 2007. *Agroclima de Mango (Mangifera indica L.) Cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins en Varios Estados de la República Mexicana*. Tesis de Doctorado en Ciencias en Fruticultura. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. 42 p.

- Martínez, .M .M. J. 2015. Control hormonal de la brotación en los cítricos: dominancia del fruto. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. p.p. 3-5.
- Martínez, R. E. R. 2014. Fenología y desarrollo de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose) en la región central de Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias en Fruticultura. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. 27 p.
- Mazzocchi, G., Pucci, E. 1963. Indagine preliminare sul fabbisogno di freddo di diverse specie arboree da frutto in Tripolitania. Riv. Agric. Subtrop. e Trop., 57: 370-394.
- McCullough, D. E., Girardin, P., Mihajlovic, M., Aguilera, A., Tollenaar, M. 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and new maize hybrid. Canadian Journal of Plant Science, 74: 471-477.
- McMaster, G. S., Wilhelm, W. W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. Agricultural and Forest Meteorology, 87(4): 291-300.
- McMichael, B. L., Burke, J. J. 2002. Temperature effects on root growth. In: Plant Roots: The Hidden Half, 3rd ed. CRC Press. New York, U.S.A. p.p. 717–728.
- Medel, F., Orueta, J. 1986. Estados fenológicos y adaptabilidad climática de las especies frutales arbóreas en el sur de Chile. Agro Sur, 14(2): 89-94.
- Meier, U. 1997. Growth stages of plants. Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin und Wien. 622 p.p.
- Mendoza. L. M. R., Aguilar, A. L., Castillo, O. S. F. 2004. Guayaba (*Psidium guajava* L.), su cultivo en el oriente de Michoacán. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro. Campo experimental Uruapan. Folleto técnico No. 4. Uruapan, Michoacan. 49 p.p.
- Millard, P. 1995. Internal cycling of nitrogen in trees. Acta Horticulturae, 383: 3-14.
- Millard, P. 1996. Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 159: 1-10.
- Millard, P., Proe, M. F. 1991. Leaf demography and the seasonal internal cycling of nitrogen in sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) seedlings in relation to nitrogen supply. New Phytologist, 117: 587-596.
- Milthorpe F. L., Moorby, J. 1982. Introducción a la fisiología de cultivos. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 259 p.

- Miranda, C., Royo, J. B. 2003. A statistical model to estimate potential yields in pear cultivars 'Blanquilla' and 'Conference' before bloom. *Journal American Society for Horticultural Science*, 128: 452-457.
- Mitchell, F.G., Thompson, J. F., Crisosto, C. H., Kasmire, R. F. 2008. The commodity. In: Thompson, J.F., Mitchell, F.G., Rumsey, T.R., Kasmire, R.F, Crisosto, C.H (Eds.), *Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and Flowers*. Revised ed. University of California Press, CA, USA, p.p. 3-4.
- Monselise, S. P., Goldschmidt, E. E., Golomb, A., Rolf, F. 1983. Alternate bearing in citrus: long term autonomy of individual 'Michal' tangerine branches after one single girdling treatment. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 108: 373-6.
- Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 281:277-294.
- Montgomery, C., Douglas, C. 1991. *Diseño y análisis de experimentos*. Iberoamérica S.A. de C.V. México, D.F. 692 p.p.
- Moore-Gordon, C. S. 1997. Aspects of avocado fruit growth and development: towards an understanding of the small fruit syndrome. Ph. D. Thesis, University of Natal. Durban, Sudáfrica. 284 p.p.
- Morales, P. A., O. Franco-Mora, A. Castañeda-Vildózola., Morales-Rosales, E.J. 2014. El efecto antisenescente del resveratrol reduce la tasa de ablandamiento poscosecha de chirimoya. *Scientia Agropecuaria*, 5: 35-44.
- Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., Tijerina, Ch. L., Volke, H. V., Sosa, M. E. 2006. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema frijol- girasol. *Terra Latinoamericana*, 24(1): 55-64.
- Moubayidin, I., Perilli, S., Dello-Ioio, R., di Mambro, R., Costantino, P., Sabatin, S. 2010. The Rate of Cell Differentiation Controls the Arabidopsis Root Meristem Growth Phase. *Current Biology*, 20: 1138-1143.
- Muchow, R. C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semiarid tropical environment. III. Grain yield and nitrogen accumulation. *Field Crops Research*, 18: 31-43.

- Muñoz, N., Guerri, J., Lega, F., Primo-Millo, E. 1993. Seasonal uptake of ¹⁵N-nitrate and distribution of absorbed nitrogen in peach trees. *Plant Soil*, 150: 263--269.
- Muñoz, R., Ritter, A. 2005. *Hidrología Agroforestal*. Mundi-Prensa. Canarias, España. 348 p.p.
- Naska, N. 1978. Delaying of flowering in apricots by ethephon and abscisic acid. *Acta Horticulturae*, 80: 219-223.
- Nava, A., J., Villegas, M. A. 1994. Comportamiento en vivero de portainjertos tolerantes a la tristeza de los cítricos. *Proceedures of the Interamerican Society for Tropical Horticulture*, 38: 86-89.
- Neilsen, D., P. Millard, G. H. Neilsen and E. J. Hogue. 1997. Sources of N for leaf growth in a high-density apple (*Malus domestica*) orchard irrigated with ammonium nitrate solution. *Tree Physiol.* 17: 733--739.
- Nelson, L. D. y Cox, M. M. 2009. Lehninger. *Principios de Bioquímica*. 5ta edición. Ediciones Omega. Barcelona, España. p.p. 682-683, 851-852.
- Nen-Tal, Y. 1986. Flowering, It's control by vegetative growth inhibition. *Acta Horticulturae*, 179: 329:335.
- Noodén, L. D. y Guiamét, J. J. 1989. Regulation of assimilation and senescence by the fruit in monocarpic plants. *Physiologia Plantarum*, 77(2): 267-274.
- Novoa, R., Loomis, R. S. 1981. Nitrogen and plant production. In: J. Monteith and C. Webb (eds). *Soil water and nitrogen in Mediterranean-type environments*, Martinus- Nijhoff/Dr. W. Junk, The Hague. p.p. 177-204.
- Ohlendorf, L. P. 1991. *Integrated Pest Management for Apples and Pears*. Division of Agriculture of Natural Resources. Univ. Calif. Oakland, California, USA. p.p. 13-15.
- Oliveira, M. 1998. Calculation of budbreak and flowering base temperature for *Vitis vinifera* cv. Touriga Francesa in the Douro region of Portugal. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(1): 74- 78.
- Ortega, F. S. O., Lozano, P., Moreno, Y., León, L. 2002. Desarrollo de modelos predictivos de fenología y evolución de madurez de vid para vino cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay. *Agricultura Técnica*, 62(1): 27-37.

- Otegui, M. E., Nicolini, M. G., Ruiz, R. A., Dodds, P. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agronomy Journal*, 87: 29-33.
- Otero, S. M. A. 2005. Fenología, Fisiología y Producción de Llana (*Annona diversifolia* Saff.). Tesis de Doctorado en Ciencias en Fruticultura. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. 29 p.
- Ovando C., Becerril-R. A. E., Mosqueda, V. R., y Serrano, A. V. 1993. Análisis del crecimiento de tres portainjertos y dos cultivares de limón mexicano en vivero. *Agrociencia Serie Fitociencia*, 4(4): 59-70.
- Palmer, J. W., Cai, Y. L., Edjamo, L. 1991. Effect of part-tree flower thinning on fruiting, vegetative growth and leaf photosynthesis in 'Cox's Orange Pippin' apple. *Journal Horticultural Science*, 66: 319-325.
- Paunovic, S. A., Gaurilovic, M., Ogauamoviu, D. 1978. Some more important biological and economic properties of new cultivars and hybrids of plums obtained at the fruit research. *Acta Horticulturae*, 74: 143-153.
- Pearman, I., Thomas, S. M., Thorne, G. N. 1977. Effects of nitrogen fertilizer on growth and yield of spring wheat. *Annals of Botany*, 41: 93-108.
- Pearcy, R. W., Ehleringer, J., Mooney, H. A., Rundel, P. W. 1994. *Plant Physiological Ecology*. Chapman & Hall. Great Britain. 457 p.p.
- Penfield, S. 2008. Temperature perception and signal transduction in plants. *New Phytologist*, 179: 615-627.
- Polito, S. V. 1981. Flower and fruit development. In: *Prune orchard management*. University of California. Special Publication. p.p. 46-52.
- Porta, J., López, M., Roquero, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 929 p.p.
- Radulovich, R. 2009. Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. *Agronomía Costarricense*, 33(1): 121-124.
- Ramírez, D. J. M. 1991. Efecto del clima en la calidad de los cítricos. 1er Congreso Internacional de Citricultura. Martínez de la Torre, Veracruz, México. p.p. 7-17.
- Ramírez, N. 2009. Correlations between the reproductive phenology of vegetation and climate variables in the Venezuelan Central Plain. *Acta Botánica Venezuelica*, 32(2): 333-362.
- Raven, H. P., Evert F. R. and Susan E. 1992. *Biología de las Plantas*. Reverté. Barcelona, España. p.p. 437, 507-508.

- Rebouillat, A., Dievart, A., Verdeil, J. L. 2009. Molecular Genetic of rice root development. *Rice*, 2: 15-34.
- Reid, S. M. 1985. Ethylene and abscisión. *HortScience*, 20:1 45-50 p.p.
- Rendig, V. V. and H. M. Taylor. 1989. *Principles of Soil-Plant Interrelationships*. Mc Graw Hill. New York, U.S.A. 597 p.p.
- Reyes, S. M. I., Villegas, M. A., Colinas, L. M. T., Calderón, Z. G. 2000. Peso específico, contenido de proteína y de clorofila en hojas de naranjo y tangerino. *Agrociencia*, 34: 49-55.
- Richardson E. A., Seeley S. D., Walter D. R. 1974. A model for estimating the completion of rest for «Redhaven» and «Elberta» Peach trees. *HortScience*, 9(4): 331-332.
- Rivetti, R. A. 2007. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. II. Producción de materia seca. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 38(2): 25-36.
- Rocha A., J. L., Salazar-García, S., Barcenas-Ortega, A. E., González-Durán, I. J. L., Cossio-Vargas, L.E. 2011. Phenology of 'Hass' Avocado in Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3): 303-470.
- Rohde, A., Bhalerao, R. 2007. Plant dormancy in the perennial context. *Trends in Plant Science*, 12(5): 217-223.
- Royo, D. J. B., Miranda, J. C., Gonzaga, S. G. 2009. Determinación precoz de la producción potencial de plantaciones de peral. *Vida rural*, 295: 36-40.
- Ruiz, C. J., Flores, L. H., Ramírez, D. J., González, E. D. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia*, 36: 569-577.
- Ryall, L. A., Pentzer, T. W. 1974. *Handling, transportation and storage of fruits and vegetables*. Vol. 2. Avi Publishing Company. INC. Westport, Connecticut, U.S.A. p.p. 230-231.
- Ryugo, K. 1988. *Fruit Culture, Its Science and Art*. John Wiley & Sons. New York. 344 p.p.
- Sakakibara, H., Suzuli, M., Takei, K., Deji, A., Taniguchi, M., Sugiyama, T. 1998. A response-regulator homologue possibly involved in nitrogen signal transduction mediated by cytokinin in maize. *Plant Journal*, 14: 337-344.

- Salazar, G. M. R., Johnson J., Chaves, C. B., Hoogenboom, G. 2013. Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 7(4): 741-762.
- Salazar, G. S. 2010. Desarrollo floral de la palta. Consultado el 13 de septiembre de 2015.
Disponibile en:http://www.paltahass.cl/presentaciones/dp2010/s_salazar_desarrollo_floral_de_la_palta.pdf
- Samish, R. M. 1948. Plum growing in the jewish settlements of Palestine. *Agricultural Research Station Rehovot Bull*, 50: 1-82.
- Sánchez, E. E. 2002. Nitrogen nutrition in pear orchards. *Acta Horticulturae*, 596: 653–657.
- Sarvas, R. 1974. Investigations on the annual cycle of development of forest trees. II. Autumn dormancy and winter dormancy. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 84: 1-101.
- Schabenberger, O., and F. J. Pierce. 2001. *Contemporary Statistical Models for the Plant and Soil Sciences*. CRC Press. 760 p.p.
- Schmülling, T. 2002. New insights in to the functions of cytokinins in plant development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21: 40-49.
- Secor, J., McCarty, D. R., Shibbes, R., Green, D. E. 1982. Variability and selection for leaf photosynthesis in advanced generation of soybean. *Crop Science*. 22: 255-258.
- Seeley, E. J. and Kammereck, R. 1977. Carbon Flux in Apple Trees: The Effects of Temperature and Light Intensity on Photosynthetic Rates. *Journal American Society of Horticultural Science*, 102(6): 731-733.
- SFGATE. 2016. The Chilling Requirements for a Methley Plum Tree. Consultado el 3 de abril de 2016. Disponible en: <http://homeguides.sfgate.com/chilling-requirements-methley-plum-tree-55867.html>
- Shaltout, A. D. and Unrath, C. R. 1983. Effect of some growth regulators and nutritional compounds as substitutes for chilling of 'Delicious' apple leaf and flower buds. *Journal of the American Society For Horticultural. Science* 108(6):898-901.

- Shaw, P.E., Chan, H. T. Jr. and Steven, N. 1998. Tropical and Subtropical Fruits. Agscience Inc. Auburndale, Florida. USA. 568 p.p.
- Shaxson, F., Barber, R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. FAO. Roma, Italia. p.p. 19, 27.
- Shock, C. C., Feibert E. B. G., Saunders, L. D. 1998. Onion yield and quality affected by soil water potential as irrigation threshold. HortScience, 33: 1188-1191.
- Sikder, S. 2009. Accumulated heat unit and phenology of wheat cultivars as influenced by late sowing heat stress condition. Journal of Agriculture & Rural Development, 7(1-2): 57-64.
- Silva, C. F., Alonso, H. J. 1976. El ciruelo. Publicaciones de Extensión Agraria. Serie Técnica No. 54. Madrid, España. p.p. 10-11, 40.
- Simón, M. E., Moysset, A. L. 2006. Prácticas de crecimiento y desarrollo de los vegetales. Ediciones de la Universidad de Barcelona. Barcelona, España. p.p. 86-87.
- Sinclair, T. R., Muchow, R. C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy, 65: 215-265.
- Slafer, G. A., Savin, R. 1991. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). Journal of Experimental Botany, 42: 1077-1082.
- Snyder, R. L., 1985. Hand calculating degree days. Agricultural Forest Meteorology, 35: 353-358.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. USDA-SCS. Washington, U.S.A. 869 p.
- Stenzel, N. M. C., Neves, C. S. V. J., Marur, C. J., Scholz, M. Bd. S., Gomes, J. C. 2006. Maturation curves and degree-day accumulation for fruits of 'Folha Murcha' orange trees. Scientia Agricola, 63(3): 219-225.
- Summerfield, R. J., Roberts, E. H., Lawn, R. J. 1989. Photothermal modulation of flowering in grain legumes crops. Proceedings of the International Congress of Plant Physiology and Biochemistry. New Delhi, India. p.p. 913-914, 921.
- Tabuenca, M. C. 1965. Influencia del clima en plantaciones frutales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Estación Experimental de Aula Dei, Zaragoza, España. p.p. 56-58, 72.

- Tabuenca, M. C., Herrero, J. 1966. Influencia de la temperatura en la época de floración en frutales. An. Aula Dei. 8: 115-163.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. Sinauer. U.S.A. p.p. 145-150, 690.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal. 3ra edición. Universitat Jaume I. Castelló de la Plana, España. p.p. 400, 764, 961,976.
- Thompson, M. M., Liu, L. J. 1972. Pollination and erratic. Bearing in "Italian" prune. Journal of the American Society for Horticultural Science, 97(4):489-491.
- Trudgill, D. L., Honek, A., Li, D., Van Straalen, N. M. 2005. Thermal time – Concepts and utility. Annals of Applied Biology, 146(1): 1-14.
- Tsubo, M., Walker, S. 2002. A model of radiation interception and use by a maize-bean intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology, 110(3): 203-215.
- Urrejola, E. 1998. Poda y conducción del ciruelo. Curso Internacional de frutales de carozo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Alto Valle. General roca, Río Negro. Argentina. 9 p.
- Vallejos, M. I. A. 2002. Evaluación de productos bioestimulantes aplicados en floración sobre la cuaja y la retención de fruta en palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass [Vitaminol, Plancton, Quasar boro y vinagre]. Tesis de ingeniería agronómica. Universidad Católica de Valparaíso, Chile. 25 p.
- Vega, M. I. 2006. Fertilización Orgánica en la Producción de Ciruelo Japonés "Methley". Tesis de Maestría en Ciencia en Fruticultura. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 22 p.
- Vega, N. R., Aceves N, L. A., Trujillo, A. J., Arriaga, R. R. 1990. Generación y aplicación de modelos agroclimáticos a la fenología de la palomilla de la manzana *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae), en Canatlán, Durango. Agrociencia, 24: 89-100.
- Villalobos, E. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 18 p.
- Villar, D. 2003. Base teórica y su aplicación para la fertilización nitrogenada en cultivos. Medidor de clorofila. Consultado el 1 de octubre de 2015. Disponible en: http://www.dev.puc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/18/tecnología.pdf

- Waisel, Y., E. Amram and U. Kafkafi. (1996). Plant roots. The hidden half. 2nd edition. Marcel Dekker Inc. New York, U.S.A. p.p. 383-384.
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P., Gutiérrez, M. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de cañote. *Agronomía Tropical*, 56(1): 21-42.
- Watada, A. E., Herner, A. A., Kader, R. J., Romani, R. J., Staby, G. L. 1984. Terminology for the description of developmental stages of horticultural. *Crops. HortScience*, 19: 20-21.
- Weinbaum, S. A., Klein, I., Broadbent, F. E., Micke, W. C., Muraoka, T. T. 1984. Effects of time of nitrogen application and soil texture on the availability of isotopically labeled fertilizer nitrogen to reproductive and vegetative tissue of mature almond trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 109: 339–343.
- Westwood, N. W. (1978). *Temperature Zone Pomology*. Ed. Freeman Co. San Francisco, California, E.U.A. p.p. 184-188, 299-322.
- Whiley, A. W., Saranah, J. B., Cull, B. W., Pegg, K. G. 1988. Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Queensland Agricultural Journal*, 114(1): 29-36.
- White, J. 1985. Conceptos básicos de fisiología vegetal del frijol (*Phaseolus vulgaris* L). In: M. López, F. Fernández y A. van Schoonhoven, (eds.) *Frijol: Investigación y Producción*. CIAT. Cali, Colombia. p.p. 43-57.
- Williams, R. R. 1965. The effect of summer nitrogen applications on the quality of the apple blossoms. *Journal of Horticultural Science*, 40: 31-41.
- Wolstenholme, B. N., Whiley, A. W. 1989. Carbohydrate and phenological cycling as management tools for avocado orchards. *South African Avocado Growers' Assn. Yearbook*, 12: 33-37.
- Wooge, J. D., Barden, J. A. 1987. Seasonal changes in specific leaf weight and leaf anatomy of apple. *HortScience*, 22: 292-294
- Yadava, U. L. and Doud, S. L. 1980. The short life and replant problems of deciduous fruit trees. *Horticultural Reviews*, 2:1-116.
- Yang, S., Logan, J., Coffey, D. L. 1995. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*, 74: 61-74.

- Yelenosky, G. 1985. Cold hardiness in Citrus. In: J. Janick (Ed.) Horticultural Reviews. Vol. 3. Avi Publishing Company, Inc. Westport Connecticut. 201-238 p.p.
- Yong, J. W. H., Wong, S. C., Letham, D. S., Hocart, C. H., Farquhar, G. D. 2000. Effects of elevated [CO₂] and nitrogen nutrition on cytokinins in the xylem sap and leaves of cotton. *Plant physiology*, 124: 767-779.
- Zamski, E. 1996. Anatomical and physiological characteristics of sink cells. *In*: Zamski, E. and A. A. Schaffer (eds.). Photoassimilate distribution in plants and crops: source-sink relationships. Marcel Dekker. New York, U.S.A. p.p. 283-310.

VII. APÉNDICE

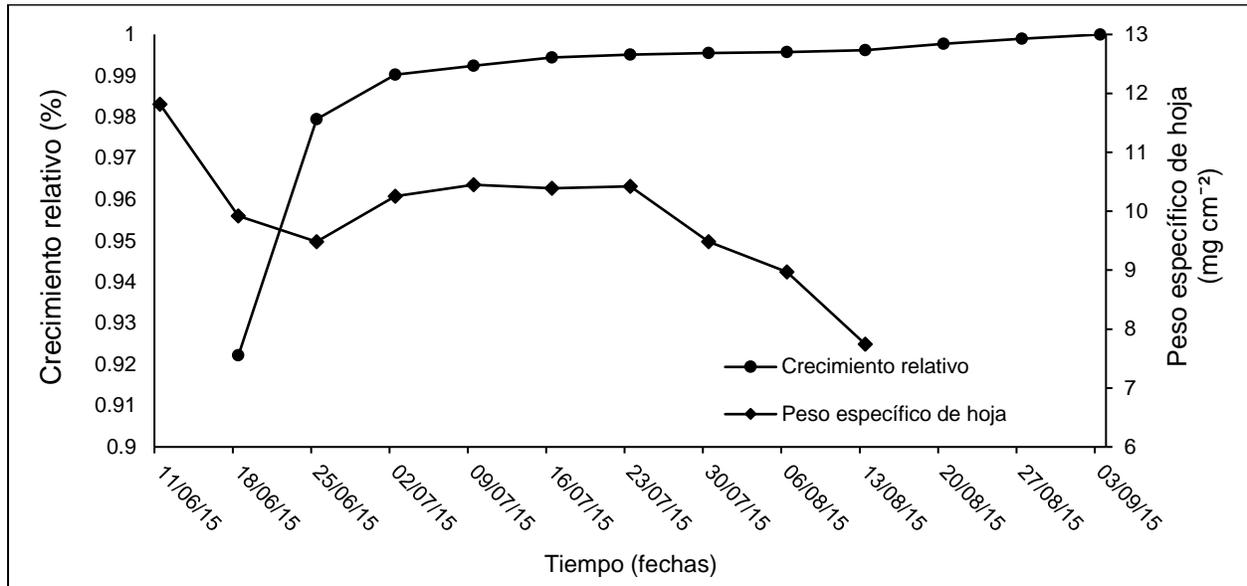


Figura A- 1. Correlación entre crecimiento vegetativo (flujos) y peso específico de hoja en 2015 (^{N.S.}Spearman= -0.44). ^{N.S.}. No significativa.

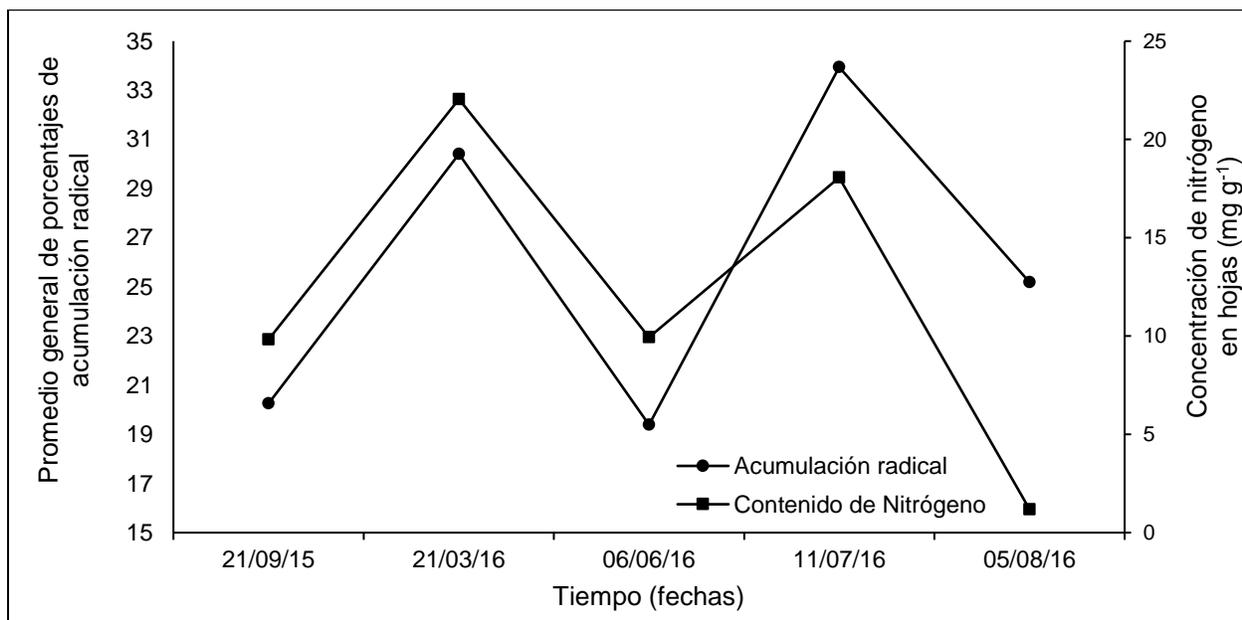


Figura A- 2. Correlación entre acumulación del crecimiento radical general y contenido de nitrógeno (^{N.S.}Spearman= 0.3). ^{N.S.}. No significativa.

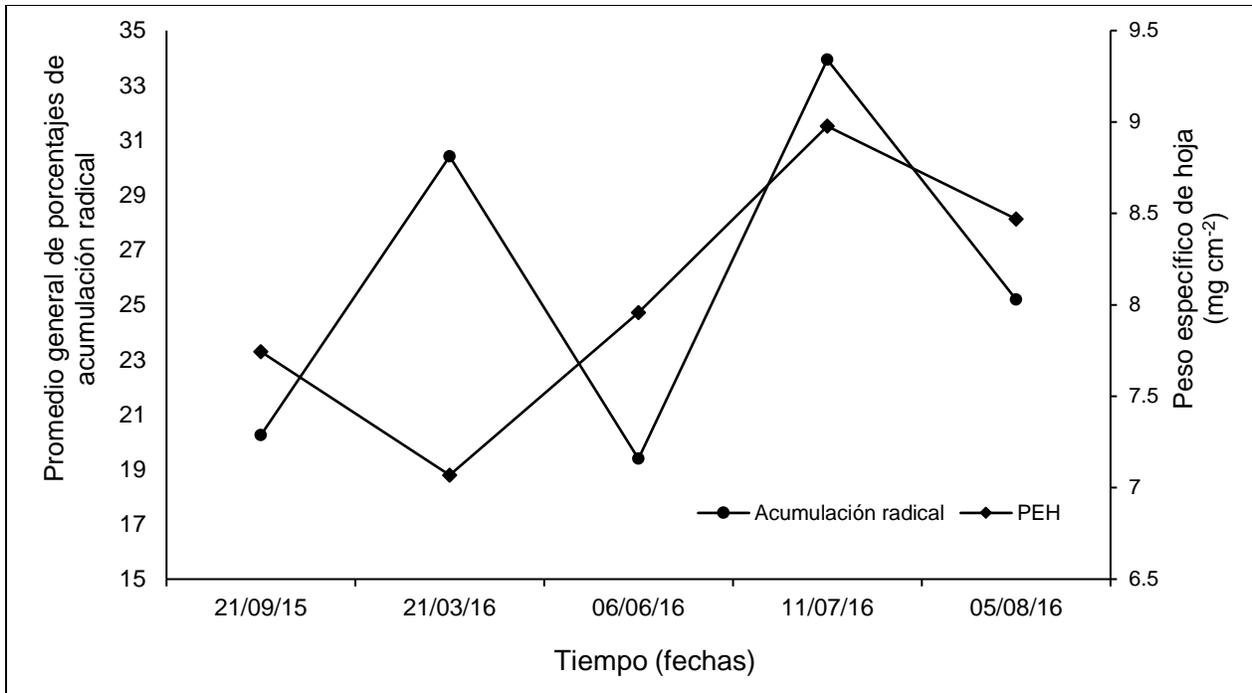


Figura A- 3. Correlación entre acumulación del crecimiento radical general y PEH (N.S.Spearman= -0.5). N.S. No significativa.

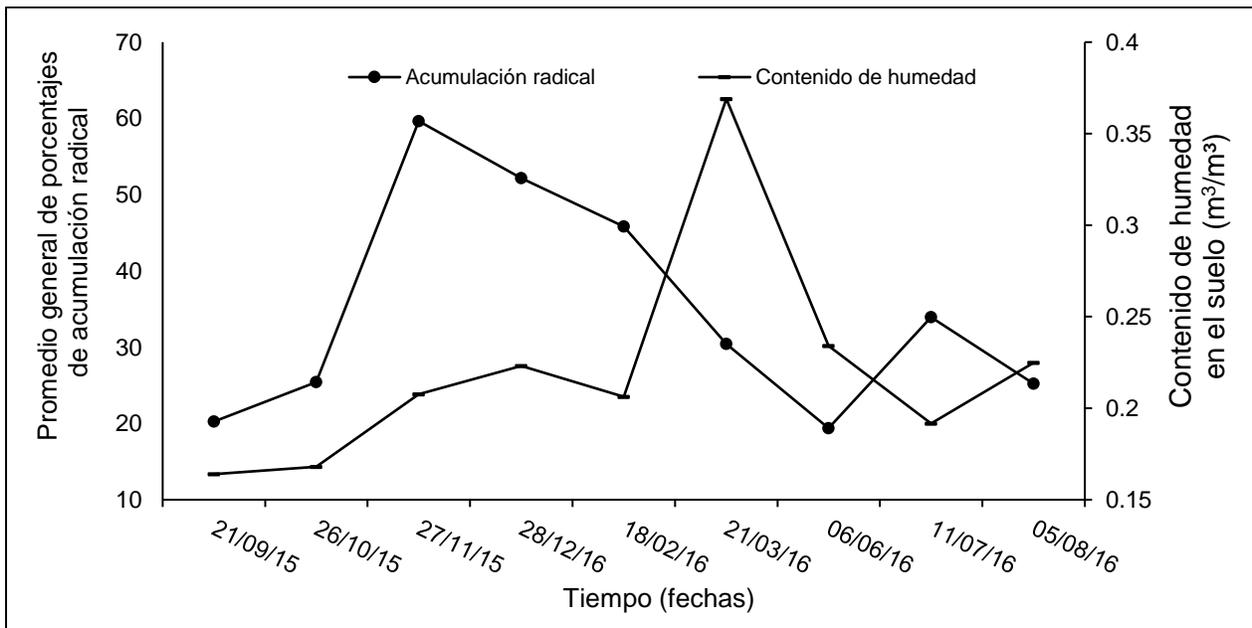


Figura A- 4. Correlación entre acumulación del crecimiento radical general y contenido de humedad en el suelo (N.S.Spearman= -0.03). N.S. No significativa.

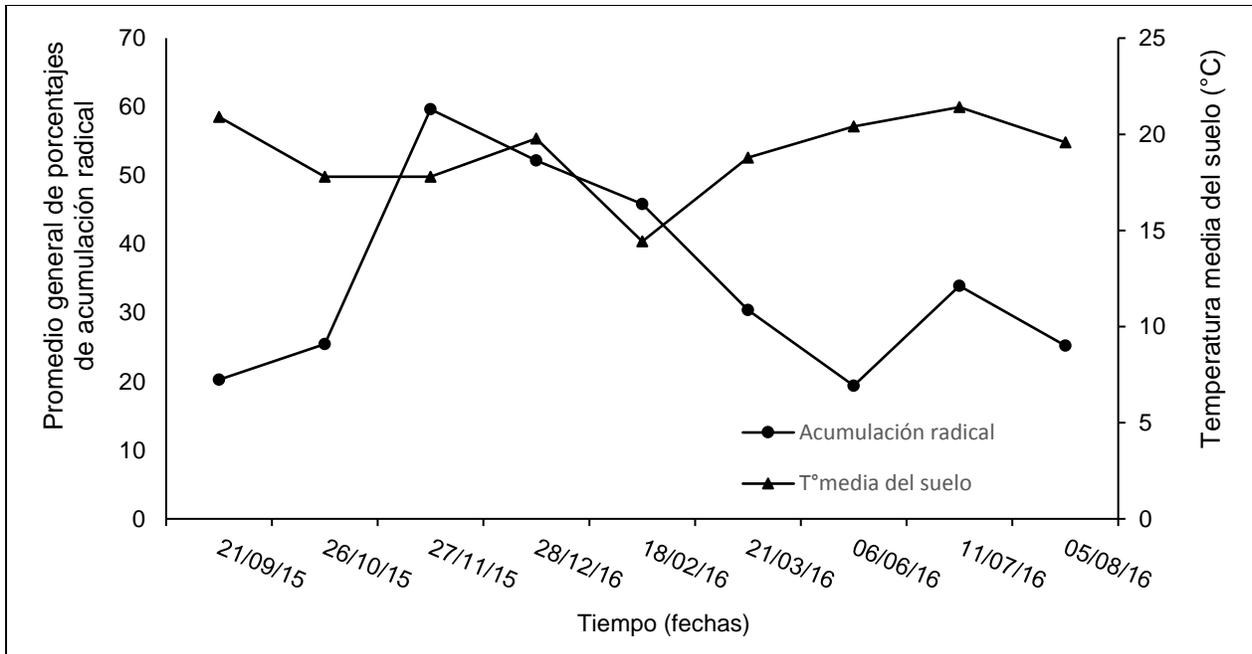


Figura A- 5. Correlación entre acumulación del crecimiento radical general y temperatura media del suelo (N.S.Spearman= -0.43). N.S. No significativa.

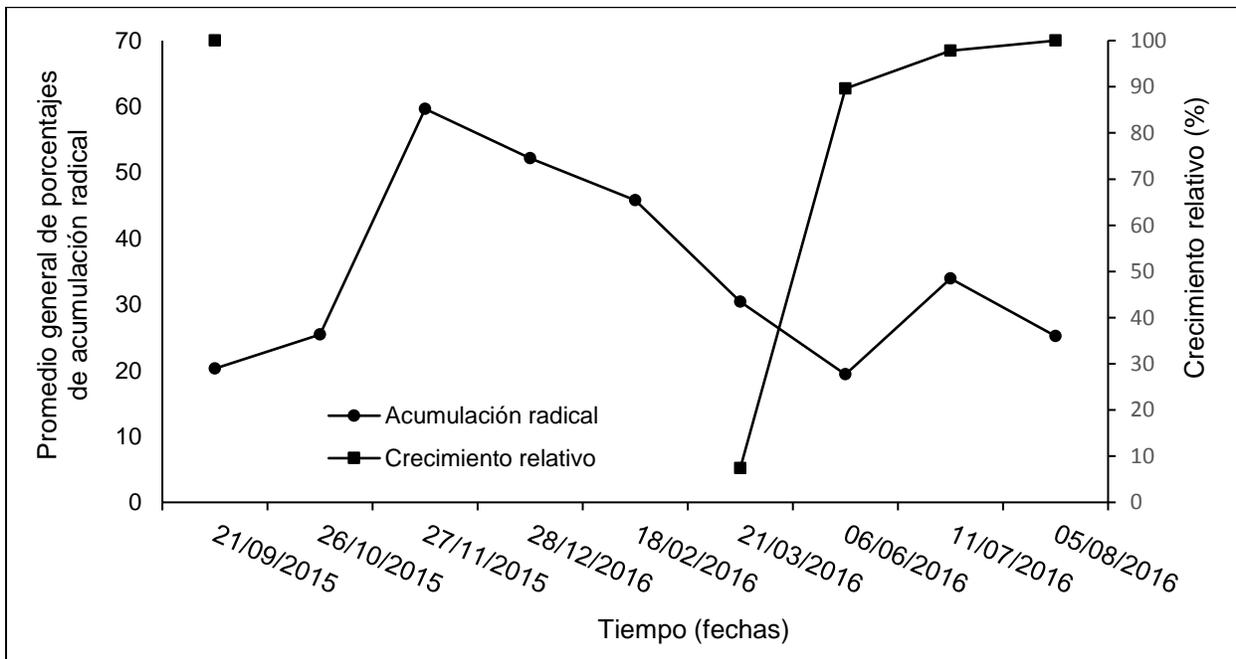


Figura A- 6. Correlación entre acumulación del crecimiento radical general y crecimiento vegetativo (flujos) (N.S.Spearman= -0.15). N.S. No significativa.

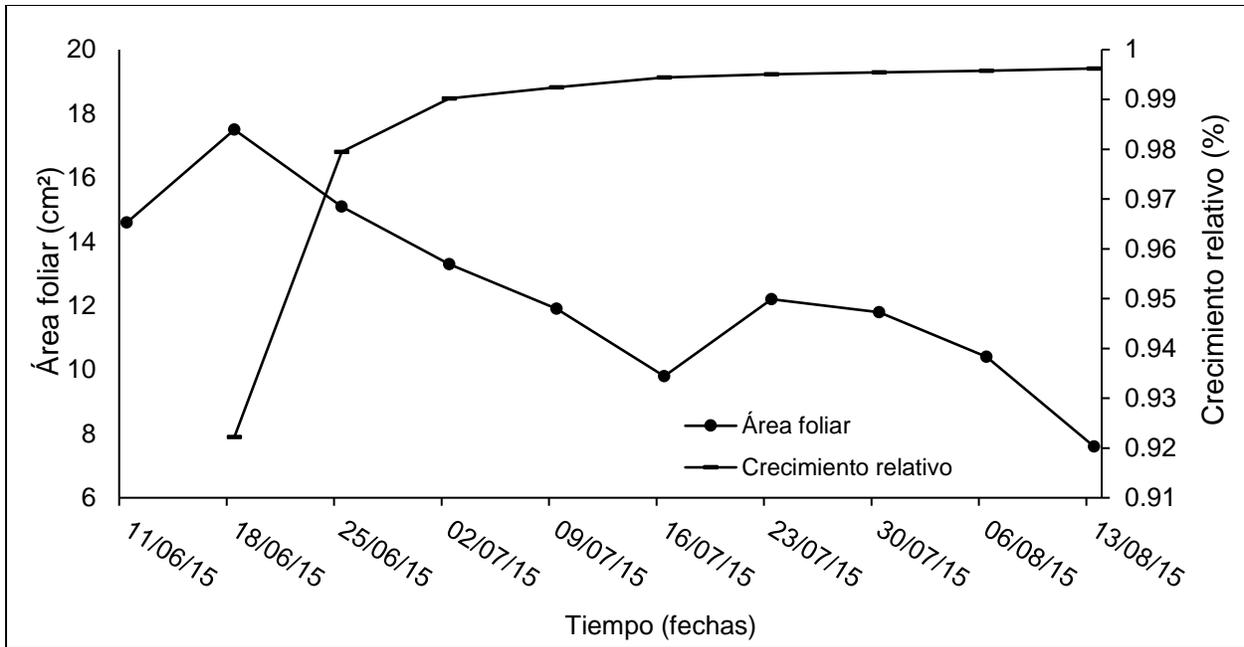


Figura A- 7. Correlación entre área foliar y crecimiento vegetativo (flujos) en 2015 (N.S. Spearman= -0.9). N.S. No significativa.

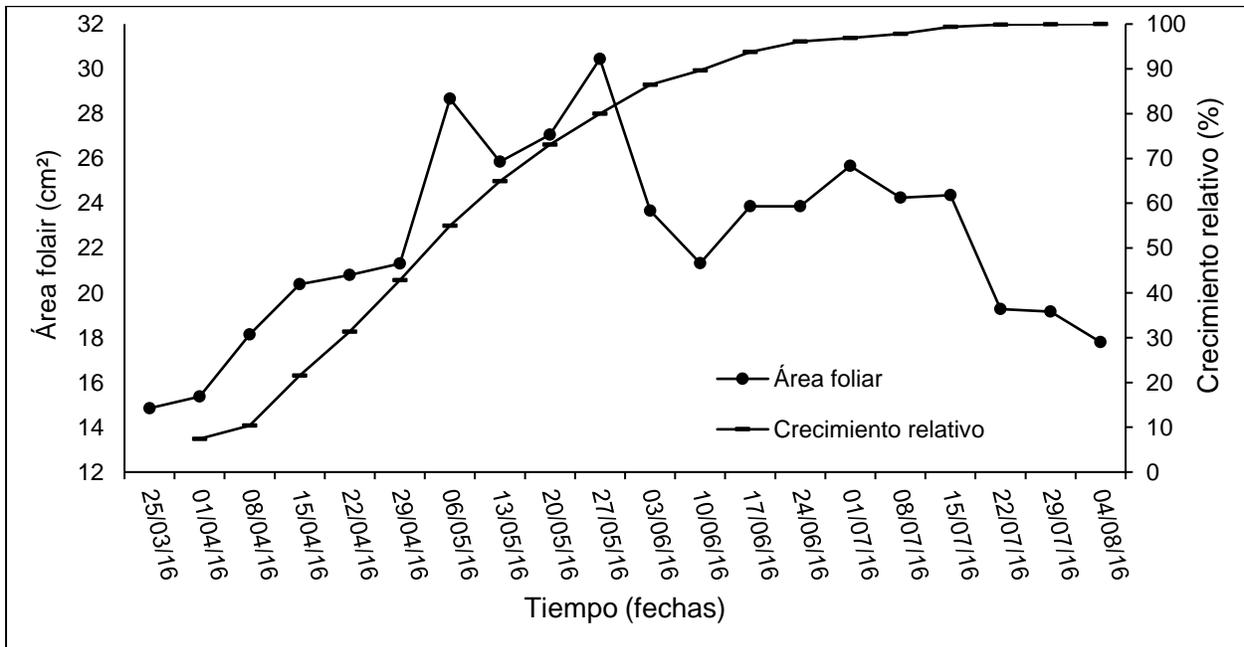


Figura A- 8. Correlación entre área foliar y crecimiento vegetativo (flujos) en 2016 (N.S. Spearman= 0.05). N.S. No significativa.

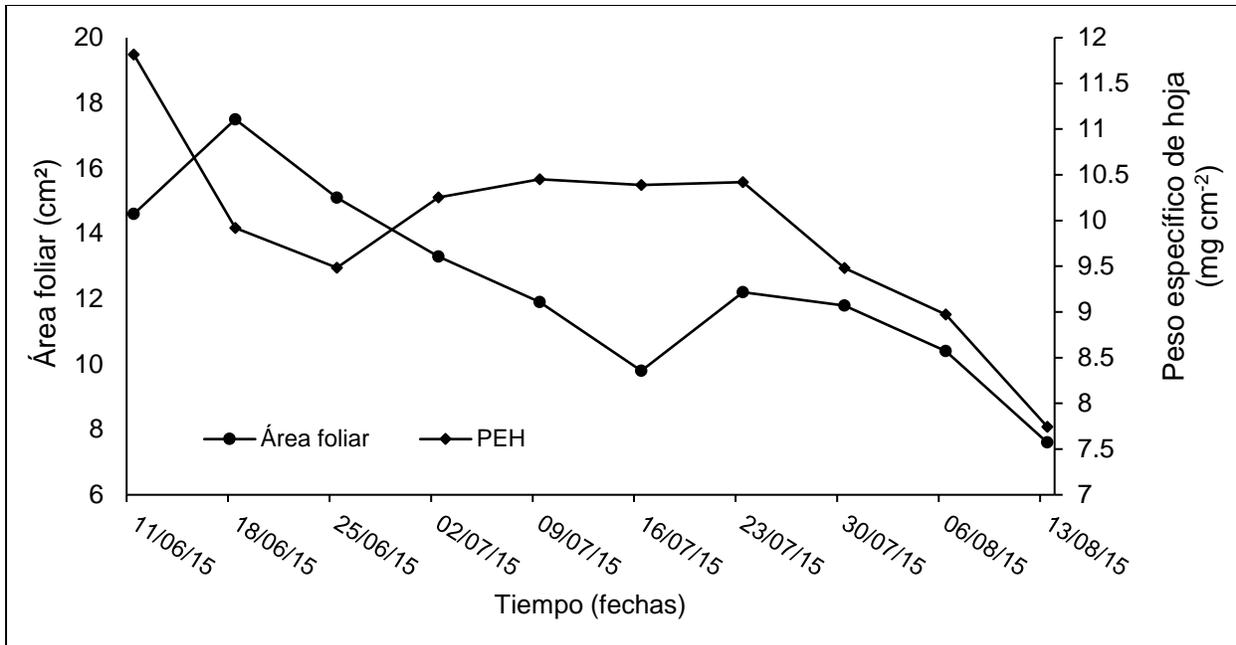


Figura A- 9. Correlación entre área foliar y peso específico de hoja en 2015 (N.S. Spearman=0.38). N.S. No significativa.

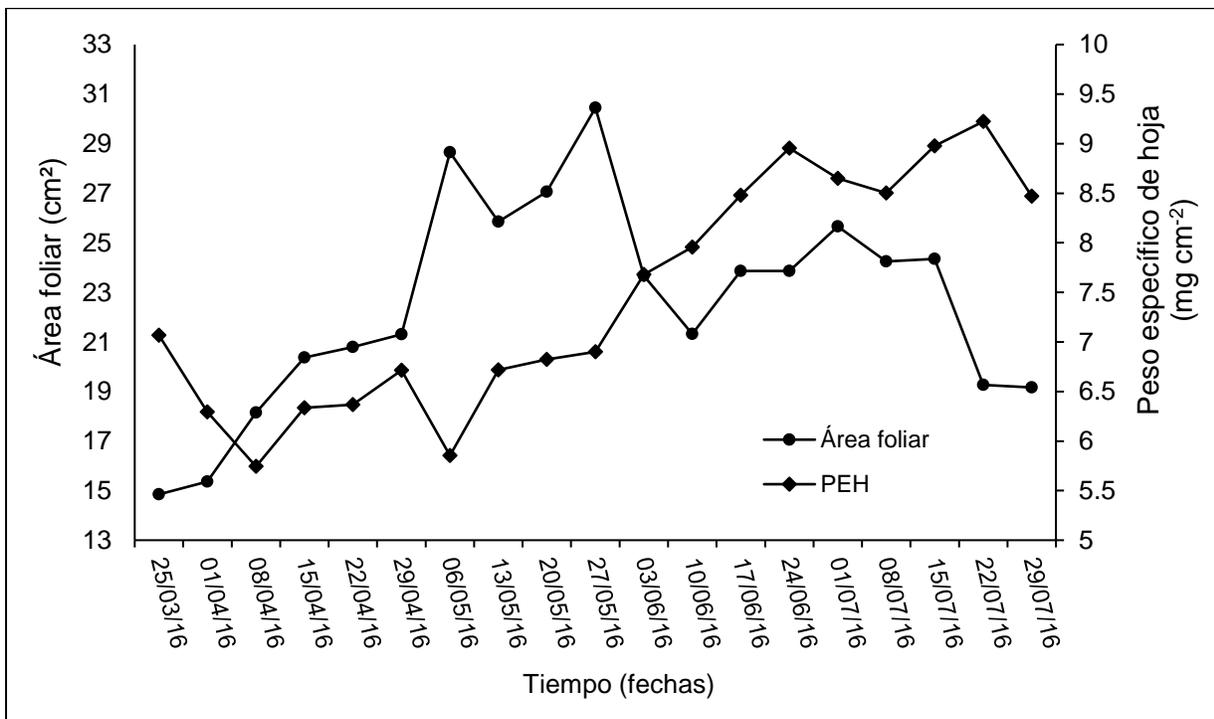


Figura A- 10. Correlación entre área foliar y peso específico de hoja en 2016 (N.S. Spearman= 0.16). N.S. No significativa.

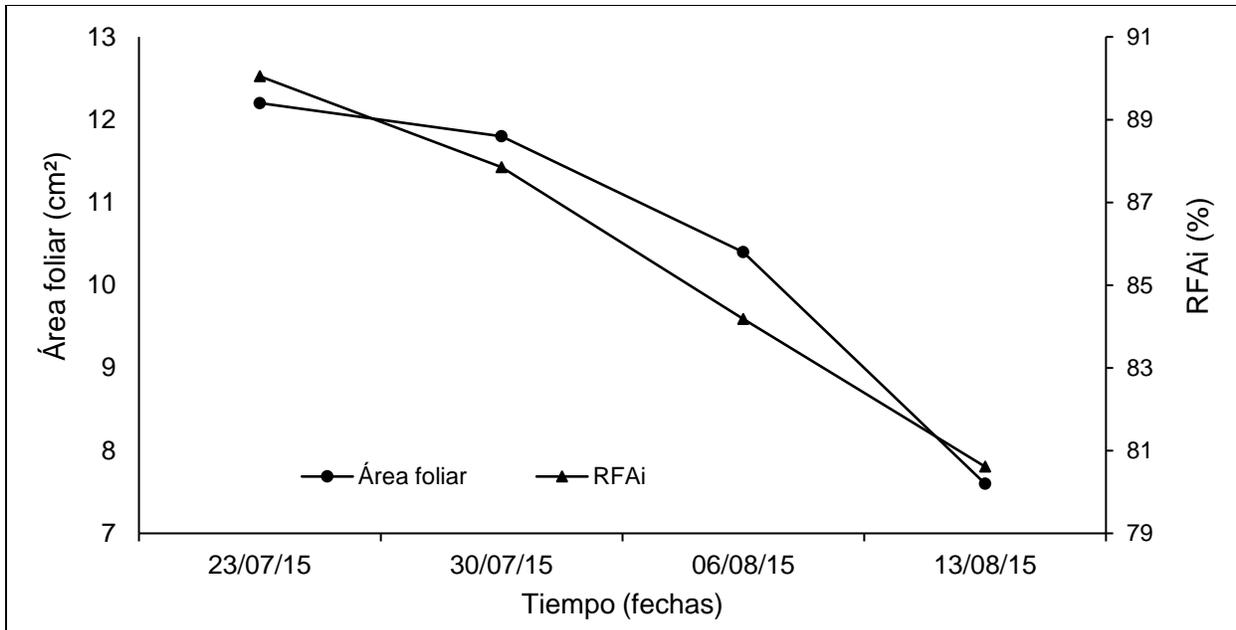


Figura A- 11. Correlación entre área foliar y Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi) en 2015 ($N.S.$ -Spearman= 0.43). $N.S.$ No significativa.

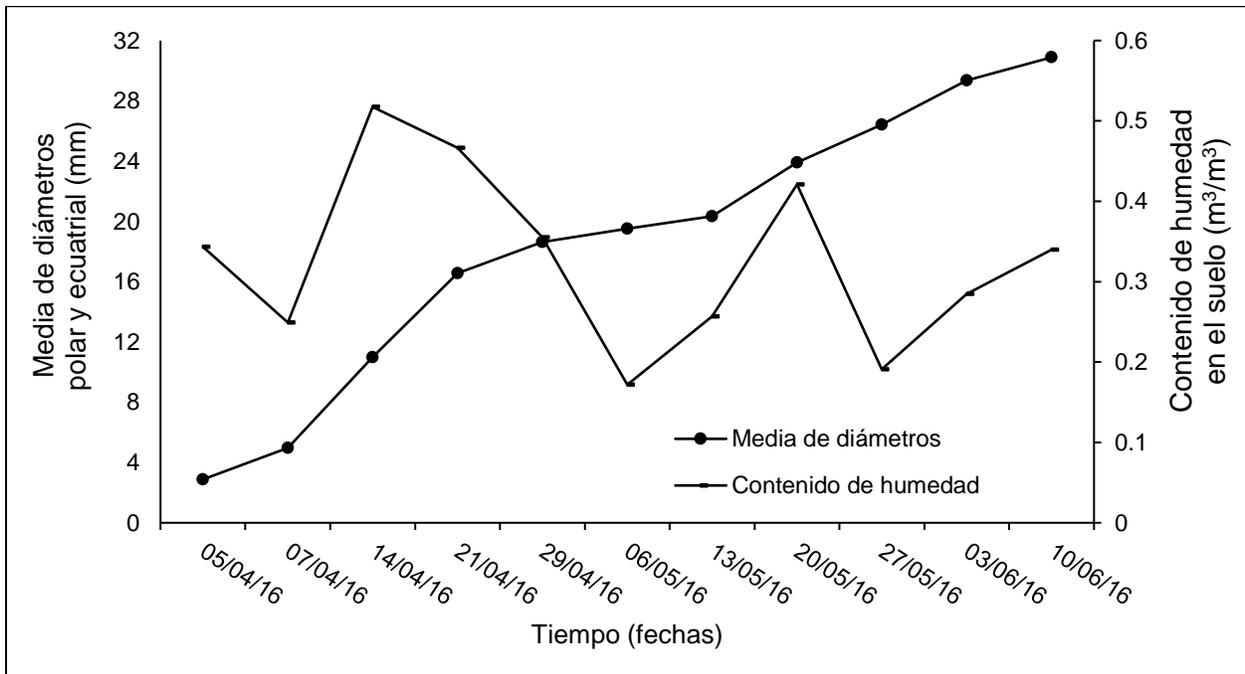


Figura A- 12. Correlación entre crecimiento y desarrollo de frutos y contenido de humedad en el suelo durante el ciclo productivo 2016 ($N.S.$ -Spearman= -0.27). $N.S.$ No significativa.

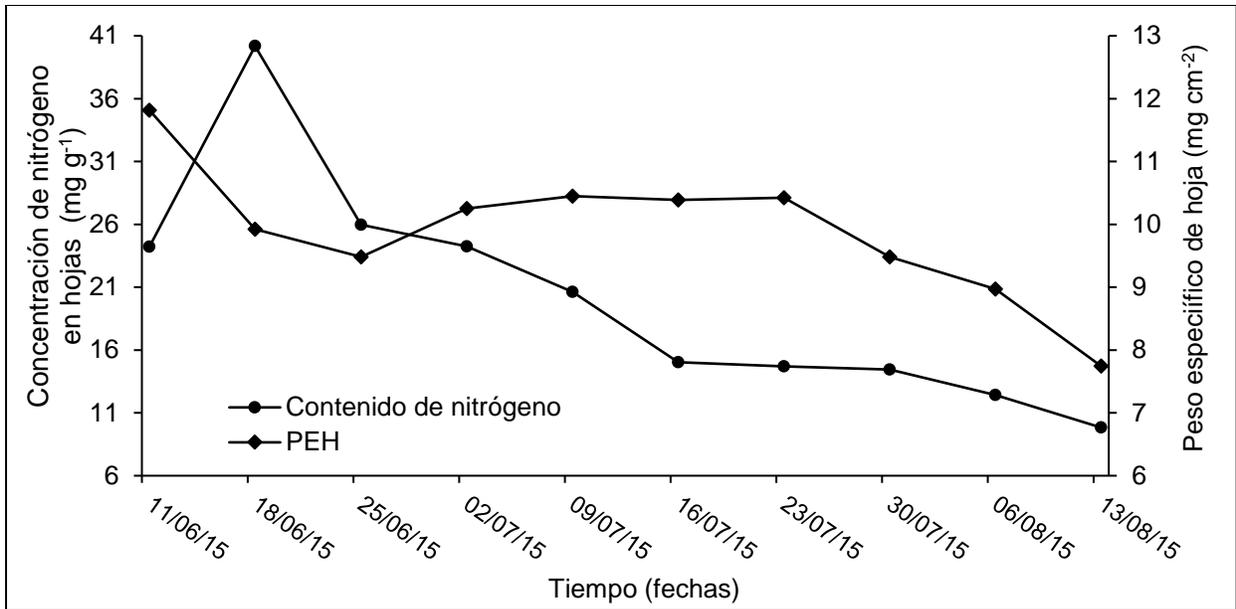


Figura A- 13. Correlación entre concentración de nitrógeno en hojas y Peso Específico de Hoja en 2015 ($N.S.$ Spearman= 0.44). $N.S.$ No significativo.

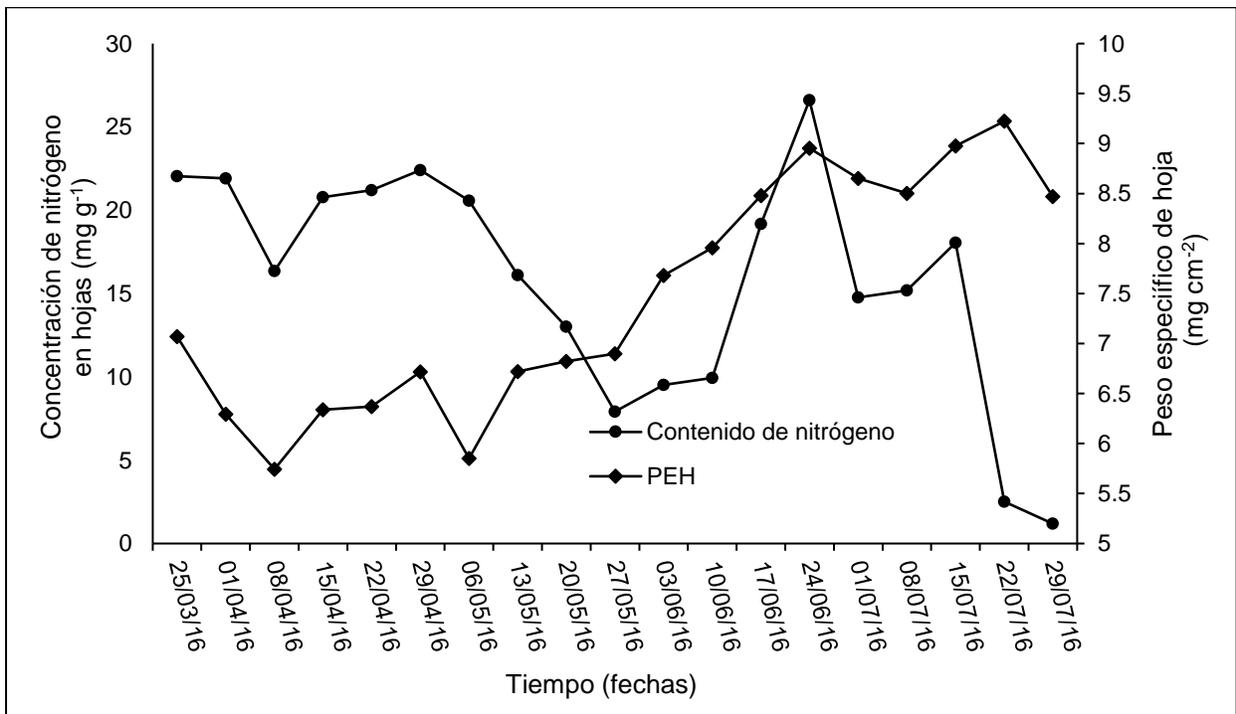


Figura A- 14. Correlación entre concentración de nitrógeno en hojas y Peso Específico de Hoja en 2016 ($N.S.$ Spearman= -0.34). $N.S.$ No significativa.

VIII. RECOMENDACIONES

Ajustar el valor del Contenido de Humedad Mínimo Permisible a un nivel más estricto por parte de futuros investigadores o encargados del huerto, siempre tomando en cuenta la inversión de tiempo que esto representaría por concepto de la frecuencia de riego debido al alto contenido de arenas del suelo.

Realizar un manejo integrado de la infección de roya que afecta la fisiología foliar en los árboles durante los meses más lluviosos. El control adecuado de esta enfermedad podría repercutir en una mayor cantidad de fotoasimilados sintetizados previo a ecoletargo, reservados en ramas y raíces durante letargo y utilizados desde el momento del hinchamiento de yemas. Consecuentemente, se afectaría positivamente el crecimiento foliar y las fases fenológicas del siguiente ciclo productivo, así como el rendimiento y calidad de frutos.

Es necesaria la implementación de investigaciones orientadas a disminuir las caídas de frutos que han afectado la producción real.

El análisis de Eficiencia en el Uso de la Radiación puede ser extendido al estudio de la materia seca sintetizada en frutos, es decir, al rendimiento.

Continuar la toma de datos fenológicos, agrometeorológicos y fisiológicos, a fin de ajustar modelos para el crecimiento de órganos.