



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGIA

El sistema agroforestal Milpa Intercalada con
Árboles Frutales (MIAF): composición varietal del
árbol y fertilización de durazno en condiciones de
heladas

HORACIO SANTIAGO MEJÍA

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

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2014

La presente tesis, titulada **El sistema agroforestal milpa intercalada con árboles frutales (MIAF): composición varietal del árbol y fertilización de durazno en condiciones de heladas**, realizada por el alumno **Horacio Santiago Mejía** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

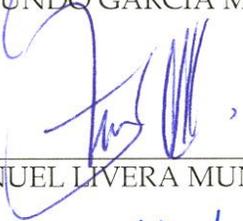
DOCTOR EN CIENCIAS
EDAFOLOGIA

CONSEJO PARTICULAR

Consejero: 
DR. JOSÉ ISABEL CORTÉS FLORES

Asesor: 
DR. ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ

Asesor: 
DR. EDMUNDO GARCÍA MOYA

Asesor: 
DR. MANUEL LIVERA MUÑOZ

Asesora: 
DRA. HILDA ARACELI ZA VALETA MANCERA

Asesor: 
DR. VÍCTOR HUGO VOLKE HALLER

Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto de 2014.

DEDICATORIA

A mis tres mujeres Rocio, Meztli y Citlalli, por ser causa de amor, inspiración, esperanza y lucha.

A mi papá Jacinto Santiago Zacarías y a mi mamá Célida Mejía López, por ser dadores de vida, de fe, honestidad y ejemplo.

A mis hermanas y hermanos: Jacinto, Angélica, Sergio, Patricia, Rocío, Elizabeth y Blanca Estela. A mis cuñados y cuñadas: Salvador, Rafael, Miguel, Araceli, Yadira, Aarón, Patricio, Lesly, Sarita y Anita. A mis sobrinas y sobrinos: Janitzzy, Jaime, Andrea Sarahí, Zeltzin Rubí, Minerva Donají, Isabel, Sofía, Omar, Natalia Itzel, Dulce Cosette, Emiliano, Tonatiuh, Ameyalli, Ximena, Iyari y Alecita. Porque este modesto escrito también es fruto de su esfuerzo, solidaridad y compañía.

A mis suegros, Patricio Albino Brigada y Catalina Garduño Torrijos, por todo su amor y apoyo brindado al sumarme a su familia.

A mis amigos, Mario, Maria Luisa, Abelito, Odilón, Nery, Adriana, Juan Pablo, Blanca, Cielo, Micheline, Aidé, Ildefonso, Laura, Eleazar, Zury, Remedios, Teresa, Aaron, Rosalba, Miriam, Raúl y David, por su amistad y solidaridad.

AGRADECIMIENTOS

A la clase trabajadora, porque sin ella nada sería posible y porque con ella el futuro será glorioso.

Al Dr. José Isabel Cortés Flores, porque ha sido un gran ejemplo como científico, profesor y humano. Gracias porque ha tenido una influencia determinante en mi formación.

Al Dr. Antonio Turrent Fernández, por su invaluable aportación científica y de lucha. Porque ha provocado grandes retos en mi formación académica y personal.

Al Dr. Edmundo García Moya, porque su ejemplo inspira confianza, superación, entrega y perseverancia.

A la Dra. Hilda Araceli Zavaleta Mancera, por sus lecciones académicas y colaboración significativa en mi formación científica.

Al Dr. Víctor Hugo Volke Haller, por sus valiosas aportaciones al presente trabajo de investigación.

Al Dr. Manuel Livera Muñoz, por su asesoría y acompañamiento para llevar a cabo la presente investigación.

A la señora Araceli, a Rosalba y a don Carlos, por todo el apoyo y amistad brindada durante mis estudios, gracias por facilitar mi estancia durante el posgrado. A doña Mago y a doña Regina, sin ustedes esto no sería posible.

Al Colegio de Postgraduados y al CONACYT, por brindarme el apoyo para mi formación científica y humana.

EL SISTEMA AGROFORESTAL MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES (MIAF): COMPOSICIÓN VARIETAL DEL ÁRBOL Y FERTILIZACIÓN DE DURAZNO EN CONDICIONES DE HELADAS

Horacio Santiago Mejía, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

El duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] es uno de los frutales de clima templado más importantes del mundo. En el sistema agroforestal Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) confiere rentabilidad económica a las pequeñas unidades de producción debido al alto valor de la fruta fresca, en temporada de escasez. Las variedades precoces o tardías generan ventanas de oportunidad y mayor rentabilidad, pero en el Altiplano mexicano estas variedades se exponen a las heladas que limitan su cultivo. Con el objetivo de encontrar una estrategia viable, se estableció un experimento en condiciones de heladas de radiación para probar la combinación de variedades (bi-varietal); una variedad precoz en el estrato superior injertada sobre una tardía y fertilizados con NPK y pollinaza, para atemperar el daño de las heladas sobre la floración y amarre de fruto e incrementar el rendimiento sin detrimento de la calidad del fruto, en comparación de una combinación uni-varietal de durazneros precoces alternados con tardíos. También se estableció una relación entre la morfología y el desarrollo anatómico de las yemas florales de las variedades precoces 'CP-Precoz' y 'Puebla' y tardías 'Supremo' y 'Zacatecas'; se describió la dinámica de acumulación de almidón y su relación con el desarrollo del tejido vascular y morfogénesis de las yemas. Las heladas ocurridas durante el estudio no causaron daños. El estrato medio superior del árbol acumuló más unidades frío que el medio inferior y se relacionó con una mayor apertura y densidad floral de los durazneros uni-varietales tardíos. 'Zacatecas' tuvo granos de polen abortivos y nula producción. La composición bi-varietal de los durazneros es mejor que la uni-varietal; la primera retrasó la floración de 'Supremo' y 'Puebla', y junto con 'CP-Precoz' incrementó el amarre de fruto, la eficiencia de rendimiento (ER), número de frutos, peso y tamaño del fruto. La fertilización con 90-30-90 g de NPK retrasó la floración, incrementó el rendimiento, la ER y la calidad del fruto. El abonado con tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹ incrementó la apertura floral y los °Brix, y disminuyó la firmeza y la acidez del fruto. El uso de durazneros bi-varietales con una fertilización adecuada tiene alto potencial para reducir el daño por heladas de radiación, obteniéndose un mayor rendimiento y mejor calidad del fruto.

Palabras clave: yemas florales, inter-injerto, floración, amarre de fruto, eficiencia del rendimiento, calidad de fruto.

**THE AGROFORESTRY SYSTEM MILPA INTERCROPPED WITH FRUIT TREES
(MIFT): VARIETAL COMPOSITION OF PEACH TREE AND FERTILIZATION
UNDER FROST CONDITIONS**

Horacio Santiago Mejía, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

Peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] is one of the most important temperate fruit trees of the world. In the agroforestry system Milpa Intercropped with Fruit Trees (MIFT) gives profitability to family production units due to the production of fresh fruit of high value during low season offer. The early or late varieties generate windows of profitable opportunities, but in the Mexican Altiplano these varieties are exposed to frost that limit cultivation. To find a viable strategy an experiment was established with radiation frost to test the combination of varieties (bi-varietal); an early cultivar in the upper stratum grafted on a late cultivar and fertilized with N-P₂O₅-K₂O and manure, in order to temper the negative effect of frosts on flowering and fruit set and increase the yield without compromising the fruit quality, in comparison to an uni-varietal system where early trees are alternated with a late cultivars. A relationship was established between the anatomical development and morphology of flower buds of the early cultivars 'CP-Precoz' and 'Puebla', and late cultivars 'Supremo' and 'Zacatecas'; the dynamic of starch accumulation is described and its relation with the vascular tissue development and bud morphogenesis. Frosts during the study caused no damage. The upper middle stratum accumulated more chill-units than the lower middle and it was associated with a higher bud break and floral density of uni-varietal late peaches. 'Zacatecas' had abortive pollen grains and no production. The bi-varietal composition is better than the uni-varietal; the first delayed the bloom period of 'Supremo' and 'Puebla', and with 'CP-Precoz' increased the fruit set, the yield efficiency, number of fruits, weight and fruit size. Fertilization with 90-30-90 g of N-P₂O₅-K₂O delayed bloom, increased the yield, yield efficiency and fruit quality. Application of three kg of manure tree-year⁻¹ increased the floral bud break, decreased the firmness, increased the °Brix and decreased fruit acidity. Using bi-varietal peaches with an appropriate fertilization has a high potential to reduce radiation frost damage, obtaining a high yield and good fruit quality.

Keywords: flower buds, inter-grafting, bloom, fruit set, yield efficiency, fruit quality.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
LITERATURA CITADA.....	2
CAPÍTULO I. ANATOMÍA Y FENOLOGÍA DE YEMAS FLORALES DE CUATRO VARIEDADES DE <i>Prunus pérsica</i> L: VASCULARIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ALMIDÓN DURANTE LA MORFOGÉNESIS.....	5
RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Material vegetal y sitio experimental.....	7
Fenología de yemas.....	8
Anatomía de yemas.....	8
RESULTADOS.....	9
Fenología.....	9
Tamaño de yemas florales en letargo.....	11
Vascularización de la yema floral.....	12
Granos de almidón.....	14
Desarrollo de la antera.....	15
Desarrollo del gineceo.....	18
DISCUSIÓN.....	19
AGRADECIMIENTOS.....	22
LITERATURA CITADA.....	22
CAPÍTULO II. COMPOSICIÓN BI-VARIETAL DE DURAZNEROS EN CONDICIONES DE HELADAS. PARTE I: TEMPERATURA, FLORACIÓN Y AMARRE DE FRUTO.....	27
RESUMEN.....	27
INTRODUCCIÓN.....	28
MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
Sitio experimental.....	29
Diseño experimental.....	29

Material vegetal.....	31
Manejo del cultivo.....	31
VARIABLES EVALUADAS.....	32
Unidades frío (UF) y temperatura del aire.....	32
Temperatura de estructuras vegetales.....	32
Floración y amarre de fruto.....	33
Análisis estadístico.....	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
Unidades Frío y temperatura del aire.....	33
Temperatura de estructuras vegetales.....	35
Floración y amarre de fruto de durazneros uni-varietales.....	36
Densidad de yemas.....	36
Apertura floral.....	38
Densidad floral.....	39
Periodo de floración.....	41
Amarre de fruto.....	41
Floración y amarre de fruto de durazneros bi-varietales.....	42
Densidad de yemas.....	43
Periodo de floración.....	44
Efecto de la composición varietal del árbol en floración y amarre de fruto de variedades tardías.....	45
Floración.....	45
Amarre de fruto.....	46
Efecto de la composición varietal del árbol en la floración y amarre de fruto de variedades precoces.....	46
Floración.....	46
Amarre de fruto.....	49
CONCLUSIONES.....	50
LITERATURA CITADA.....	51
CAPÍTULO III. COMPOSICIÓN BI-VARIETAL DE DURAZNEROS EN	
CONDICIONES DE HELADAS. PARTE II: RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO	55

RESUMEN.....	55
INTRODUCCIÓN.....	56
MATERIALES Y MÉTODOS.....	57
Sitio experimental.....	57
Diseño experimental.....	57
Material vegetal.....	57
Manejo del cultivo.....	57
Variables evaluadas.....	58
Rendimiento del árbol y eficiencia del rendimiento.....	58
Número, peso y tamaño de frutos.....	59
Calidad de fruto.....	59
Firmeza.....	59
Sólidos solubles totales (SST).....	59
Acidez titulable (AT).....	59
Color.....	59
Análisis estadístico.....	59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
Rendimiento de fruto.....	60
Eficiencia de rendimiento.....	62
Número, peso y tamaño del fruto.....	65
Calidad del fruto.....	65
Firmeza.....	65
Sólidos solubles totales.....	66
Acidez titulable.....	67
Color.....	68
CONCLUSIONES.....	69
LITERATURA CITADA.....	70
CONCLUSIONES GENERALES.....	74

LISTA DE CUADROS DEL CAPÍTULO I

- Cuadro 1. Descripción de los estados fenológicos y las etapas de desarrollo anatómico de yemas florales en cuatro cultivares de duraznero. Modificación de Baggiolini (1952) y Reinoso *et al.* (2002)..... 10

LISTA DE FIGURAS DEL CAPÍTULO I

- Figura 1. Fenología y desarrollo anatómico de las yemas florales de 'Puebla', 'CP Precoz' y 'Zacatecas', otoño-invierno (29-oct-2011 a 17-mar-2012) y para 'Supremo', otoño-invierno (29-oct-2012 a 06-feb-2013)..... 9
- Figura 2. Morfología y número de la etapa de desarrollo anatómico de la yema de cuatro variedades de duraznero. Otoño-Invierno 2011-2012 para 'Puebla', 'CP Precoz' y 'Zacatecas'; Otoño-Invierno 2012-2013 para 'Supremo'. Yema en letargo (A: etapas 1-7), yema hinchada (B: etapas 8-9), cáliz visible (C: etapa 10), punta rosada (D), estambres visibles (E), flor abierta (F)..... 11
- Figura 3. Dinámica del crecimiento en longitud (A) y diámetro (B) de yemas en letargo, de cuatro variedades de duraznero. Los valores son promedio de 10 yemas \pm ES ($P < 0.05$)..... 12
- Figura 4. Conexión vascular, desarrollo del xilema y granos de almidón en yemas florales de duraznero, 'Puebla', 'Supremo', 'CP Precoz' y 'Zacatecas', a partir de mediados de otoño a finales de invierno. A. Discontinuidad del xilema en el pedúnculo floral y el primordio. B. Granos de almidón en la base del hipanto. C. Conexión vascular entre pedúnculo y los verticilos vegetativos. D. Haces vasculares maduros en la base del hipanto, alrededor células de parénquima con granos de almidón. E. Establecimiento del xilema en el carpelo, células contiguas de parénquima con granos de almidón fluorescentes. F. Filamento del estambre con granos de almidón y haz vascular central (anficribal). Flechas indican elementos de vaso maduros; p, pedúnculo; pc, procambium; ga, granos de almidón hi, hipanto; ca, carpelo; ob, obturador; es, estilo. Escalas: A y C = 20 μ m; B, D y F = 100 μ m; E = 500 μ m..... 13
- Figura 5. Secuencia de la vascularización y aparición de granos de almidón en los estados fenológicos (A, B, C, D, E) y las etapas del desarrollo anatómico (1-10) de yemas florales observada en cuatro variedades de duraznero..... 14
- Figura 6. Proceso de la microsporogénesis (A, B, C y D); proceso normal de la microgametogénesis de 'Puebla', 'Supremo' y 'CP Precoz' (E, G y I); y desarrollo anormal del polen de 'Zacatecas' (F, H y J). A. Antera tetraesporangiada con células esporógenas. B. Células tapetales que rodean a las CMP. C. CMP en profase de la meiosis. D. Tétradas tetraédricas. E.

Liberación de las microsporas. F. Defecto en la liberación de microsporas. G. Etapas de mitosis en los granos de polen. H. Desintegración de microsporas y asincronía en meiosis. I. Engrosamientos tangenciales y anticlinales de la pared del endotecio y depósito de esporopolinina en el grano de polen. J. Defecto en la formación de pared del grano y obliteración del mismo. ce, células esporógenas; t, tapete; cmp, células madre de polen; tt, tétradas tetraédricas; e, endotecio. Escalas: A, C-J = 20 μm ; B = 100 μm 17

Figura 7. Desarrollo del ovario común a 'Puebla', 'Supremo', 'CP Precoz' y 'Zacatecas'. A. Diferenciación temprana del carpelo. B. Cavidad locular. C. Protuberancias meristemáticas de los óvulos. D. Levantamiento del ovulo y desarrollo del obturador. E. Desarrollo de la nucela, alargamiento de los tegumentos, micrópilo joven. F. Diferenciación de papilas secretoras en el estigma. n, nucela; ob, obturador; pc, procambium; te, tegumentos; tc, tejido de conducción del tubo polínico. Escalas: A-C, E y F = 100 μm ; D = 500 μm 18

LISTA DE CUADROS DEL CAPÍTULO II

Cuadro 1.	Tratamientos del experimento factorial 25 con una repetición, efectos factoriales y lotificación a ¼.....	30
Cuadro 2.	Ecuaciones de regresión para floración y amarre de fruto de durazneros uni-varietales tardíos, que describen el efecto del estrato del árbol (E), variedad tardía (Vt), variedad precoz alternada (Vpa), fertilizante NPK (F) y pollinaza (P).....	37
Cuadro 3.	Ecuaciones de regresión para floración y amarre de fruto de durazneros uni-varietales precoces, que describen el efecto del estrato del árbol (E), variedad tardía alternada (Vta), variedad precoz (Vp), fertilizante NPK (F) y pollinaza (P).....	38
Cuadro 4.	Ecuaciones de regresión para floración y amarre de fruto de la variedad precoz de durazneros bi-varietales, que describen el efecto de la variedad tardía como inter-injerto (Vtii), variedad precoz (Vp), fertilización (F) y pollinaza (P).....	43
Cuadro 5.	Ecuaciones de regresión para floración y amarre de fruto de durazneros tardíos, que describen el efecto de la composición varietal del árbol (Cva), variedad tardía (Vt), variedad precoz (Vp), fertilizante NPK (F) y pollinaza (P).....	45
Cuadro 6.	Ecuaciones de regresión para floración y amarre de fruto de durazneros precoces, que describen el efecto de la composición varietal del árbol (Cva), variedad tardía (Vt), variedad precoz (Vp), fertilizante NPK (F) y pollinaza (P).....	47

LISTA DE FIGURAS DEL CAPÍTULO II

Figura 1.	(A) Composición del árbol uni-varietal en que se alternan un árbol de variedad tardía (negro) y una precoz (rojo). (B) Composición del árbol bi-varietal, el árbol está compuesto por el estrato inferior de una variedad tardía (negro) y el estrato superior de una precoz (rojo). Alturas (0.2, 1.2, 2.2 y 3.5m) en las que se registró la temperatura del aire	31
Figura 2.	Unidades frío acumuladas a diferentes alturas del perfil del árbol de duraznero, del 17 de noviembre de 2011 al 31 de marzo de 2012.....	34
Figura 3.	Temperatura del aire durante 24 h (29-30 de noviembre de 2011) en diferentes alturas mostrando la inversión térmica.....	34
Figura 4.	(A) Temperatura de las estructuras vegetales a 2.2 m de altura de 'Puebla' con follaje y de 'CP-Precoz' sin follaje a temperatura del aire entre 9-10 °C y	

	(B) de 'Puebla' con follaje y de 'Zacatecas' sin follaje, a temperatura del aire cercana a 0 °C; a 2.2 m de altura el 04 y 14 de marzo de 2012, respectivamente.....	36
Figura 5.	Efecto de las interacciones (A) estrato y variedad tardía y (B) fertilizante N-P ₂ O ₅ -K ₂ O y pollinaza, en la densidad de yemas florales en las variedades precoces de duraznero.....	37
Figura 6.	Efecto de las interacciones (A) variedad precoz alternada y fertilizante N-P ₂ O ₅ -K ₂ O en las variedades tardías y (B) pollinaza y variedad tardía en las variedades precoces, sobre el porcentaje de apertura floral de duraznero.....	39
Figura 7.	Efecto de la interacción variedad tardía y variedad precoz alternada, sobre la densidad floral en los durazneros uni-varietales tardíos	40
Figura 8.	Efecto de la interacción variedad y variedad precoz alternada, sobre el final del periodo de floración de durazneros uni-varietales tardíos.....	41
Figura 9.	Efecto de la interacción estrato del árbol y variedad precoz alternada, sobre el amarre de fruto en durazneros uni-varietales tardíos.....	42
Figura 10.	Efecto de la interacción variedad tardía como inter-injerto y pollinaza, sobre la densidad de yemas de los cultivares precoces en los durazneros bi-varietales	44
Figura 11.	Efecto de la interacción variedad tardía como inter-injerto y variedad, sobre el inicio (A) y plena (B) floración de las variedades precoces de durazneros bi-varietales.....	44
Figura 12.	Efecto de la interacción composición varietal del árbol y fertilizante NPK, en la fecha del final de la floración de las variedades tardías.....	46
Figura 13.	Efecto de las interacciones (A) composición varietal del árbol y variedad tardía y (B) pollinaza y variedad precoz, sobre la apertura floral de las variedades precoces de duraznero.....	47
Figura 14.	Efecto de la interacción composición varietal del árbol y variedad tardía, sobre la densidad floral de variedades precoces de duraznero.....	48
Figura 15.	Efecto de la interacción composición varietal del árbol y variedad tardía, en el inicio (A) y final (B) de la floración de las variedades precoces de duraznero.....	49
Figura 16.	Efecto de la interacción composición varietal del árbol y variedad tardía, sobre el porcentaje de amarre de fruto de variedades precoces de duraznero.....	49

LISTA DE CUADROS DEL CAPÍTULO III

Cuadro 1.	Ecuaciones de regresión para rendimiento y calidad de fruto de variedades precoces de duraznero, que describen el efecto de la composición varietal del árbol (Cva), variedad tardía (Vt), variedad precoz (Vp), fertilizante N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (F) y pollinaza (P).....	60
Cuadro 2.	Ecuaciones de regresión para rendimiento y calidad de fruto de variedades tardías de duraznero, que describen el efecto de la composición varietal del árbol (Cva), variedad tardía (Vt), variedad precoz alternada (Vp), fertilizante N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (F) y pollinaza (P).....	62
Cuadro 3.	Ecuaciones de regresión para rendimiento y eficiencia de rendimiento totales de las variedades precoces y tardías de duraznero, que describen el efecto de la composición varietal del árbol (Cva), variedad tardía (Vt), variedad precoz alternada (Vp), fertilizante N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (F) y pollinaza (P).....	64

LISTA DE FIGURAS DEL CAPÍTULO III

Figura 1.	Efecto de la interacción composición varietal del árbol y variedad tardía, sobre el rendimiento de fruto de las variedades precoces de duraznero, 'CP-Precoz' y 'Puebla'.....	61
Figura 2.	Efecto de las interacciones (A) variedad precoz y fórmula baja 60-15-60 g de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O árbol-año-1 y (B) variedad precoz y fórmula alta 90-30-90 g de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O árbol-año-1, sobre el rendimiento de fruto de las variedades tardías.....	61
Figura 3.	Efecto de las interacciones (A) composición varietal del árbol y variedad tardía en las variedades precoces y (B) fertilizante N-P ₂ O ₅ -K ₂ O y variedad tardía, sobre la eficiencia de rendimiento de duraznero.....	63
Figura 4.	Efecto de la interacción variedad tardía y composición varietal del árbol, sobre la eficiencia total del rendimiento de durazneros (variedad tardía + variedad precoz).....	64
Figura 5.	Efecto de las interacciones (A) composición varietal del árbol y variedad tardía, sobre el número de frutos por árbol y (B) variedad tardía y variedad precoz sobre el peso del fruto, de durazneros precoces.....	65
Figura 6.	Efecto de las interacciones (A) variedad tardía y variedad precoz y (B) composición varietal del árbol y pollinaza, sobre la firmeza del fruto de durazneros precoces.....	66
Figura 7.	Efecto de las interacciones (A) composición varietal del árbol y pollinaza y (B) variedad precoz y fertilización de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O, sobre la concentración	

	de sólidos solubles totales del fruto de la variedad 'Supremo' de duraznero...	67
Figura 8.	Efecto de la interacción composición varietal del árbol y pollinaza, sobre la acidez titulable del fruto de los durazneros precoces.....	68
Figura 9.	Efecto de la interacción fertilizante N-P ₂ O ₅ -K ₂ O y composición varietal del árbol (A) en 'CP-Precoz' y (B) en 'Puebla', sobre el índice de color del fruto de durazneros precoces.....	69

INTRODUCCIÓN GENERAL

El duraznero es uno de los frutales de clima templado más importantes en el mundo (Gullo *et al.*, 2014). En el sistema agroforestal Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) confiere rentabilidad económica a las pequeñas unidades de producción agrícola (Cortés *et al.*, 2005) debido su alto valor en el mercado de fruta fresca cuando la oferta es baja (SIAP, 2014). La productividad del duraznero en México, está afectada principalmente por heladas durante el otoño, invierno e inicio de la primavera, periodo en que ocurre la floración y amarre de fruto que son sensibles a las bajas temperaturas. El uso de variedades tardías cuya floración y amarre de fruto ocurre al inicio de la primavera es una alternativa. Sin embargo, las variedades comerciales predominantes son precoces e intermedias; es decir, que florecen en invierno. Por lo tanto, el riesgo de daño por heladas durante la floración y amarre de fruto es alto y, en algunos años, la pérdida de la cosecha es total. Sin embargo, la temperatura baja es uno de los factores climáticos que más influye para que las yemas florales entren en letargo (Die y Rowland, 2014). La acumulación de frío suficiente es necesaria para que tengan un crecimiento, desarrollo y apertura adecuados, y cuando es insuficiente provoca malformaciones en los verticilos vegetativos y reproductivos de las yemas, así como una apertura desuniforme y mala calidad de las flores (Nava *et al.*, 2009; Atkinson *et al.*, 2013). Durante el letargo existe un crecimiento y desarrollo gradual y continuo de las yemas florales, aunque este sea lento, pero al terminar este periodo, los cambios anatómicos y morfológicos son rápidos hasta llegar a la apertura floral (Reinoso *et al.*, 2002). El almidón se acumula en las yemas florales de varias especies de *Prunus* durante el invierno (González-Rossia *et al.*, 2008) y se ha reportado que en chabacano se requiere para la diferenciación del xilema del filamento del estambre y la microgametogénesis (Julian *et al.*, 2014).

El establecimiento de la conexión vascular entre el pedúnculo y el primordio floral induce que las yemas pierdan la capacidad de sobre-enfriamiento, ello se debe a que el establecimiento de la conexión vascular entre el pedúnculo y la yema favorece la congelación de los tejidos (Ashworth, 1984; Julian *et al.*, 2007); esta condición hace más sensible a las yemas al daño por las heladas. Tanto la diferenciación de las yemas como el patrón de floración del duraznero son acrópetos (Reinoso *et al.*, 2002; Pérez, 2004), por lo que las flores en la parte baja del dosel del árbol están expuestas al congelamiento durante las heladas de radiación, ya que la temperatura del aire es más fría que en la superior (Lhomme *et al.*, 2007).

Los porta-injertos e inter-injertos en duraznero modifican patrones característicos de las variedades comerciales, entre otros, periodo de floración y cosecha (Malcom *et al.*, 2014), vigor del árbol (Tombesi *et al.*, 2010b), competencia entre el crecimiento vegetativo y reproductivo (Marra *et al.*, 2013), y producción y calidad del fruto (Yano *et al.*, 2002c; Gullo *et al.*, 2014). Aunque el uso de los inter-injertos hasta ahora no ha sido con fines de producción, variedades tardías como inter-injerto en el estrato medio inferior del árbol y variedades precoces en el medio superior, podrían reducir el daño por heladas de radiación; debido a que el aire frío estaría en contacto con las yemas florales en letargo de la variedad tardía y el aire menos frío con las flores de la variedad precoz. Además, una nutrición adecuada del duraznero incrementa la tolerancia a condiciones restrictivas de crecimiento (Nario *et al.*, 2003), e incrementa el rendimiento y calidad del fruto (Falguera *et al.*, 2012; Bravo *et al.*, 2012).

Por lo anterior, en la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos: 1) estudiar el desarrollo anatómico de las yemas florales de dos variedades precoces (‘CP-Precoz’ y ‘Puebla’) y dos tardías (‘Supremo’ y ‘Zacatecas’) en los estados de yema en letargo, yema hinchada, cáliz visible, punta rosada y estambres visibles y conocer la función de los granos de almidón en la vascularización y en la morfogénesis de la yema; 2) analizar la relación de la temperatura del aire y dosel del árbol con la floración; y 3) evaluar la respuesta de las cuatro variedades a la composición varietal del árbol, y a la fertilización con NPK y pollinaza en la floración, amarre de fruto, rendimiento y calidad de fruto en condiciones de heladas de radiación. La hipótesis fue que durazneros compuestos de una variedad precoz en el estrato alto injertada sobre una tardía, atemperan más el daño de las heladas de radiación sobre la floración y amarre de fruto e incrementan las posibilidades de producción y calidad de fruto, que durazneros precoces alternados con tardíos.

LITERATURA CITADA

- Ashworth E.N. 1984. Xylem development in *Prunus* flower buds and the relationship to deep supercoiling. *Plant Physiology* 74:862-865.
- Atkinson C., Brennan R. y Jones H. 2013. Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. *Environmental and Experimental Botany* 91:48-62.

- Bravo K., M. Toselli, E. Baldi, G. Marcolini, G. Sorrenti, M. Quartieri, and B. Marangoni. 2012. Effect of organic fertilization on carbon assimilation and partitioning in bearing nectarine trees. *Scientia Horticulturae* 137:100-106.
- Cortés, J.F., Turrent F.A., Díaz P.V., Hernández E.R., Mendoza R. y Aceves E. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. (SAGARPA, Ed.) México: Colegio de Postgraduados. <sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/03%20MILPA%20INTERCALADA%20CON%20FRUTALES.pdf> (Consultado 23 de julio de 2014).
- Die J. y Rowland L. 2014. Elucidating cold acclimation pathway in blueberry by transcriptome profiling. *Environmental and Experimental Botany* Article in Press.
- Falguera V., J. Lordan, F. Gatiús, M. Pascual, J.M. Villar, A. Ibarz, and J. Rufat. 2012. Influence of nitrogen fertilization on polyphenol oxidase activity in peach fruits. *Scientia Horticulturae* 142:155-157.
- González-Rossia D., Reig C., Dovis V., Gariglio N. y Agustí M. 2008. Changes on carbohydrates and nitrogen content in the bark tissues induced by artificial chilling and its relationship with dormancy bud break in *Prunus* sp. *Scientia Horticulturae* 118:275-281.
- Gullo, G., A. Motisi, R. Zappia, A. Dattola, J. Diamanti, and B. Mezzetti. 2014. Rootstock and fruit canopy position affect peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] (cv. Rich May) plant productivity and fruit sensorial and nutritional quality. *Food Chemistry* 153: 234-242.
- Julian C., Herrero M. y Rodrigo J. 2007. Flower bud drop and pre-blossom frost damage in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality* 81:21-25.
- Julian C., Herrero M. y Rodrigo J. 2014. Anther meiosis time is related to winter cold temperatures in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Environmental and Experimental Botany* 100:20-25.
- Lhomme, J.P., J.J. Vacher, and A. Rocheteau. 2007. Estimating downward long-wave radiation on the Andean Altiplano. *Agricultural and Forest Meteorology* 145: 139-148.
- Malcolm, P.J., P. Holford, I. Barchia, and W.M. McGlasson. 2014. High and low root zone temperatures at bud-break reduce growth and influence dry matter partitioning in peach rootstocks. *Scientia Horticulturae* 171:83-90.
- Marra F.P., R. Lo Bianco, M. La Mantia, and T. Caruso. 2013. Growth, yield and fruit quality of ‘Tropic Snow’ peach on size-controlling rootstocks under dry Mediterranean climates. *Scientia Horticulturae* 160:274-282.

- Nava G., Dalmago G., Bergamaschi H., Paniz R., dos Santos R. y Marodin G. 2009. Effect of high temperatures in pre-blooming and blooming periods on ovulo formation, pollen grains and yield of 'Granada' peach. *Scientia Horticulturae* 122:37-44.
- Nario, A., I. Pino, F. Zapata, M. P. Albornoz, and P. Baherle. 2003. Nitrogen (¹⁵N) fertiliser use efficiency in peach (*Prunus persica* L.) cv. Goldencrest trees in Chile. *Scientia Horticulturae* 97: 279-287.
- Pérez, S. 2004. Yield stability of peach germplasm differing in dormancy and blooming season in the Mexican subtropics. *Scientia Horticulturae* 100: 15-21.
- Reinoso H., Virginia L., Pharis R. y Bottini R. 2002. Dormancy in peach (*Prunus persica*) flower buds. V. Anatomy of bud development in relation to phenological stage. *Canadian Journal of Botany* 80:656-663.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Estacionalidad del durazno por año agrícola. www.siap.gob.mx/estacionalidad-por-ano-agricola (Consultado 07 julio 2014).
- Tombesi S., R. S. Johnson, K. R. Day, and T.M. DeJong. 2010b. Interactions between rootstock, inter-stem and scion xylem vessel characteristics of peach trees growing on rootstocks with contrasting size-controlling characteristics. *AoB PLANTS* plq013, doi:10.1093/aobpla/plq013.
- Yano, T., H. Inoue, Y. Shimizu, S. Shinkai and M. Ochi. 2002c. Effect of *Prunus tomentosa* and *P. persica* rootstocks on yield, fruit quality, dry matter partitioning and trunk cross-sectional areas of six peach cultivars. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 71:730-737.

CAPÍTULO I

ANATOMÍA Y FENOLOGÍA DE YEMAS FLORALES DE CUATRO VARIEDADES DE *Prunus pérsica* L: VASCULARIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ALMIDÓN DURANTE LA MORFOGÉNESIS

ANATOMY AND PHENOLOGY OF FLOWER BUDS OF FOUR CULTIVARS OF *Prunus persica* L: VASCULARIZATION AND STARCH DISTRIBUTION DURING MORPHOGENESIS

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue estudiar el desarrollo anatómico y fenología de las yemas florales de cuatro variedades de duraznero (‘Puebla’, ‘Supremo’, ‘CP Precoz’ y ‘Zacatecas’) con diferentes fechas de floración, y el papel de los granos de almidón en la vascularización y morfogénesis. Se estudiaron cinco estados fenológicos: yema en letargo, yema hinchada, cáliz visible, punta rosada y estambres visibles. Las yemas fueron fijadas en solución FAA y procesadas para cortes en parafina y teñidos con safranina O y verde fijo FCF. La acumulación de almidón inició en letargo y fue requerido en diferentes partes de la yema, para la diferenciación del xilema, microsporogénesis, microgametogénesis y desarrollo del ovario. Las yemas en letargo incrementaron su longitud y diámetro, la vascularización sucedió gradualmente de manera acrópeta del pedúnculo hacia el hipanto, cáliz y corola. La diferenciación de los óvulos inició al término del periodo de letargo con excepción de ‘Puebla’ (variedad precoz) en el cual este evento empezó antes. En yema hinchada, se estableció el xilema en los estambres y en el carpelo, también se inició la microgametogénesis y culminó en el estado de cáliz visible. Cuando los estambres fueron visibles el óvulo alcanzó su desarrollo y vascularización. El desarrollo del grano de polen de ‘Zacatecas’ (variedad tardía) fue anormal, presentó granos abortados con engrosamiento irregular de su pared.

Palabras clave: durazno, diferenciación vascular, microsporogénesis, microgametogénesis, granos de polen abortados.

INTRODUCCIÓN

El letargo es conocido como una pausa temporal de la actividad de los meristemos vegetales en las plantas leñosas (Rohde y Bhalerao, 2007; Horvath, 2009). Este es el mecanismo que las plantas (Andreini *et al.*, 2014) usan para proteger los tejidos sensibles a las condiciones climáticas desfavorables y adaptar su fenología al ambiente (Faust *et al.*, 1997; Elle y Sauter, 2000; Campoy *et al.*, 2011). Las yemas florales de árboles frutales de clima templado entran en letargo a mediados de otoño y durante el invierno. El letargo afecta estructuras de las plantas como yemas, semillas, bulbos, etc., y estas estructuras mantienen *relaciones* anatómicas y fisiológicas con estructuras vecinas (Arora *et al.*, 2003). La aclimatación al frío de las yemas florales en varias especies de *Prunus* está determinada por factores fisiológicos y bioquímicos (Luna *et al.*, 1990; Ashworth *et al.*, 1993; González-Rossia *et al.*, 2008; Die y Rowland, 2014), genéticos (Arora *et al.*, 1992; Arora y Wisniewski, 1994; Yamane *et al.*, 2011), morfológicos y anatómicos (Ashworth, 1982; Ashworth, 1984). Al mismo tiempo, el frío es requerido para interrumpir el letargo de las yemas florales (Bonhomme *et al.*, 1999; Andreini *et al.*, 2014). Una deficiencia en la acumulación de frío provoca malformaciones en los verticilos vegetativos y reproductivos de las yemas (Nava *et al.*, 2009; Pacini, 2010), deficiencia en la apertura floral (González-Rossia *et al.*, 2008; Yue *et al.*, 2010; Reig *et al.*, 2013) y demerita la calidad de las flores (Atkinson *et al.*, 2013). Al terminar el periodo de letargo de las yemas florales de duraznero, hay cambios anatómicos y morfológicos que se dan en un periodo muy corto antes de llegar a la apertura floral (Reinoso *et al.*, 2002). Estos cambios acompañados de fisiológicos hacen a las yemas más susceptibles a las bajas temperaturas, pues pierden la capacidad de superenfriamiento. Ello se debe al establecimiento de la conexión vascular entre el pedúnculo y el primordio floral, que facilita la congelación de las yemas y al daño por heladas (Ashworth, 1982; Ashworth y Rowse, 1982; Ashworth, 1984; Julian *et al.*, 2007). En varias especies leñosas como el duraznero, la actividad enzimática aumenta y la cantidad de azúcares disminuye, esta condición también hace a las yemas florales susceptibles al frío (Oncelay *et al.*, 1979; Ashworth *et al.*, 1993; Faye y Le Floch, 1999; Palonen, 1999). El almidón tienen una función muy importante en la morfogénesis de las yemas florales, su presencia está inversamente correlacionada con los carbohidratos solubles. El almidón se encuentra a principios del letargo y aumenta su concentración al final de este periodo en yemas florales de duraznero (Bonhomme *et al.*, 2005; González-Rossia *et al.*, 2008) y de pera (Ito *et al.*, 2002). El almidón es una forma de

almacenamiento de los carbohidratos que se producen durante la fotosíntesis. En el caso del chabacano, la presencia de almidón se ha relacionado con procesos de diferenciación del xilema y con el inicio de la meiosis en estambres (Julian *et al.*, 2011). Hay eventos relevantes en el desarrollo anatómico de las yemas florales que se pueden relacionar con la fenología y el manejo agronómico de árboles frutales de clima templado, sobre todo en condiciones con riesgos de heladas. El inicio de la meiosis y el cambio de coloración en las anteras de chabacano, son un indicador de la interrupción del letargo de las yemas (Julian *et al.*, 2011; Julian *et al.*, 2014). La aplicación de etefón en este estado fenológico, aumenta la concentración de almidones en los pistilos y mejora la tolerancia al frío de las yemas de duraznero (Durner, 1989; Durner y Gianfagna, 1992). Así, identificando la morfología de las yemas, y conociendo su estado anatómico, se puede evitar o reducir la pérdida de la producción de fruto por heladas (Rodrigo, 2000). Aunque hay algunos estudios del desarrollo anatómico de las yemas florales de duraznero (Reinoso *et al.*, 2002), se necesita más información de diferentes cultivares, en latitudes más cálidas y con presencia de heladas. Por ello el objetivo de esta investigación fue estudiar el desarrollo anatómico de las yemas florales de cuatro variedades de duraznero con diferentes fechas de floración, en yema en letargo, yema hinchada, cáliz visible, punta rosada y estambres visibles; además de conocer la función de los granos de almidón en la vascularización y en la morfogénesis de la yema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y sitio experimental. Se trabajó con cuatro variedades de duraznero, dos precoces ‘Puebla’ y ‘CP Precoz’, y dos tardías ‘Supremo’ y ‘Zacatecas’, de cinco años de edad injertados en duraznero criollo. Un árbol de cada variedad fue seleccionado de un experimento establecido en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), el “Horno”, Chapingo, Texcoco, estado de México, 19°29’17” N y 98°53’41” O, a una elevación 2280 m. Los durazneros fueron fertilizados con la fórmula 60-15-60 (g de N-P₂O₅-K₂O) más tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹ y conducidos bajo el sistema Tatura modificado, en el sistema milpa intercalado con árboles frutales (MIAF) (Cortés *et al.*, 2005). El clima del sitio es semiárido, con temperatura media de 15.45 °C, la precipitación anual de 644 mm y el suelo tipo es fluvisol móllico (Govaerts *et al.*, 2008).

Fenología de yemas. Se muestrearon ramillas mixtas de un año de edad, en la parte media del árbol (1.5 m de altura), cada 20 días. Las variedades 'Puebla', 'CP Precoz' y 'Zacatecas' se muestrearon del 29 de octubre de 2011 (mediados de otoño) al 17 de marzo de 2012 (finales de invierno) y 'Supremo' del 29 de octubre 2012 al 26 febrero de 2013. Las yemas florales se fijaron en FAA (10:50:5:35, v/v/v/v; formaldehído: etanol: ácido acético glacial: agua desionizada) durante 48 h y después se conservaron en solución GAA (1:1:1, v/v/v; glicerol: etanol: agua desionizada). Con la finalidad de documentar los cambios morfológicos en cada fecha, se fotografiaron dos yemas de cada cultivar en la posición apical y basal de la ramilla mixta, con una cámara Moticam 2000[®] (Motic; Hong Kong), en un estereoscopio Nikon SMZ800[®].

Para determinar el tamaño de la yema en letargo, se midió la longitud y el diámetro a 10 yemas con escamas por ramilla mixta, con un vernier digital en cada fecha de muestro. Los datos se analizaron estadísticamente, con análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.

Los estados fenológicos fueron determinados de acuerdo a Bagliolini (1952): A, yema en letargo; B, yema hinchada; C, cáliz visible; D, punta rosada; E, estambres visibles; y F, flor abierta.

Anatomía de yemas. A las mismas yemas fotografiadas para el registro de la fenología, se les retiraron las escamas con una navaja de bisturí y el apoyo de un estereoscopio, luego se procesaron para su inclusión en parafina según Ruzin (1999). Se realizaron cortes longitudinales seriados (10 μ m) con un micrótopo rotatorio (American optical) y se tiñeron con safranina O y verde fijo FCF (0.12% verde FCF en etanol 50%). Las preparaciones histológicas fueron analizadas en un microscopio Zeiss[®] para determinar la etapa de desarrollo anatómico de acuerdo a Reinoso *et al* (2002): etapas de la 1 a la 7 en el estado A; etapas 8 y 9 en el B; y etapa 10 en el C (Cuadro 1). Posteriormente se fotografiaron en un microscopio Axioskop 2 plus[®] (Zeiss; Germany), y para fotografiar los granos de almidón se usó luz de fluorescencia con un filtro verde (excitación 450-490 nm, emisión 515 nm). Las fotografías fueron editadas con el software GIMP 2.8.8.

RESULTADOS

Fenología. A finales de octubre, las cuatro variedades tenían yemas en letargo (A). Durante este estado fenológico presentaron siete etapas de desarrollo anatómico, pero en diferentes fechas para cada variedad (Figs. 1 y 2). 'Puebla' fue el más precoz y el primero en llegar a yema hinchada (B) (finales de diciembre), enseguida 'Supremo' (mediados de enero), continuó 'CP Precoz' (a finales de enero), y al final 'Zacatecas' (finales de febrero) (Fig. 1). Para los cuatro cultivares, a partir de yema hinchada (B: etapas 8-9), los cambios fenológicos fueron muy rápidos a cáliz visible (C: etapa 10), punta rosada (D), estambres visibles (E) y apertura floral (F); en promedio 3 semanas (Fig. 1). 'Puebla' llegó a plena floración (F) a mediados de enero (en el primer tercio del invierno); continuó 'Supremo' a mediados de febrero y 'CP Precoz' una semana después (a mediados de invierno); y finalmente 'Zacatecas' a mediados de marzo (final del invierno). Algunos estados fenológicos (Cuadro 1) no se registraron, ya que en la fecha de muestreo ya habían sucedido (Fig. 2).

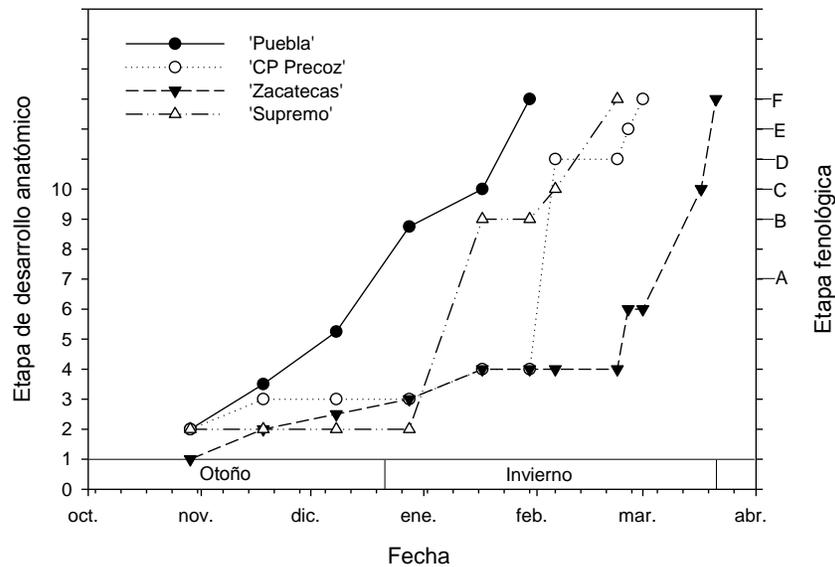


Figura 1. Fenología y desarrollo anatómico de las yemas florales de 'Puebla', 'CP Precoz' y 'Zacatecas', otoño-invierno (29-oct-2011 a 17-mar-2012) y para 'Supremo', otoño-invierno (29-oct-2012 a 06-feb-2013).

Cuadro 1. Descripción de los estados fenológicos y las etapas de desarrollo anatómico de yemas florales en cuatro cultivares de duraznero. Modificación de Bagliolini (1952) y Reinoso *et al.* (2002).

Estado fenológico	Etapas anatómica	Eventos
A: Yema en letargo	1	Cáliz y corola diferenciados, y en menor grado estambres (dos lóculos en cada uno de los dos lóbulos unidos por el tejido conectivo) y gineceo (cavidad locular).
	2	Epidermis diferenciada en la pared del microesporangio y en el interior células grandes esporógenas con citoplasma denso, núcleos grandes y nucléolos prominentes.
	3	Capas identificables del microesporangio, epidermis, endotecio, tres capas de células parietales, y el tapete. Inicia la diferenciación de las células madre de polen (CMP).
	4	Células tapetales con citoplasma denso formando la capa más interna del microesporangio, que rodean a las CMP en desarrollo. Inicio de protuberancias meristemáticas en la cavidad locular (solo 'Puebla').
	5	Vacuolación de células tapetales, algunas binucleadas. Las CMP agrandadas y comienzan a separarse una de otra.
	6	En el ovario se diferencia el obturador sobre cada óvulo (solo 'Puebla'). Algunas CMP están en la profase de la meiosis, en otras anteras, las CMP resultan en la formación simultánea de tétradas tetraédricas.
	7	Tejido vascular en pedúnculo y en verticilos vegetativos. Esta conexión vascular entre la yema y la varetta determina el final del estado fenológico A. Microsporas recién liberadas con núcleos haploides. El tapete degenera gradualmente, células parietales comienzan a comprimirse al endotecio.
B: Yema hinchada	8	Expansión de las células del endotecio. Inicio de la microgametogénesis, microsporas en mitosis, una célula generativa se localiza en el citoplasma de la célula vegetativa. Se observan nucela del óvulo y obturador en 'Supremo', 'CP Precoz' y 'Zacatecas'.
	9	Notable nucela en los óvulos y el micrópilo comienza a distinguirse. Endotecio con remanentes de las capas intermedias adheridos en la superficie interna. Granos de polen con pared gruesa.
C: Cáliz visible	10	En el ovario, los óvulos continúan su desarrollo. La pared del endotecio del microesporangio desarrolla bandas de engrosamiento de pared secundaria en la parte anticlinal y tangencial. En el estigma se inicia la diferenciación de una superficie de papilas secretoras.
D: Punta Rosada		La corola se observa como un círculo rosa pequeño en el ápice de la yema, los sépalos adquieren su color verde-marrón. Adelgazamiento en el estomio.
E: Estambres visibles		Los pétalos continúan su rápido crecimiento y duplican su longitud en alrededor de 4 días, las flores jóvenes parcialmente abiertas, aparecen los estambres, el estomio se rompe. Óvulo pedunculado y anátropo en el que se ha iniciado la diferenciación del saco embrionario. El estigma ha desarrollado una cubierta con papilas secretoras.



Figura 2. Morfología y número de la etapa del desarrollo anatómico de la yema de cuatro variedades de duraznero. Otoño-Invierno 2011-2012 para 'Puebla', 'CP Precoz' y 'Zacatecas'; Otoño-Invierno 2012-2013 para 'Supremo'. Yema en letargo (A: etapas 1-7), yema hinchada (B: etapas 8-9), cáliz visible (C: etapa 10), punta rosada (D), estambres visibles (E), flor abierta (F).

Tamaño de yemas florales en letargo. La posición de la yema en la ramilla mixta no afectó su tamaño, en los cuatro cultivares. Aunque las yemas estaban en letargo su longitud y diámetro aumentó gradualmente. El aumento en longitud de las yemas de 'Puebla' y 'Zacatecas' fue significativo (Fig. 3A), mientras el incremento en diámetro solo fue significativo para 'CP Precoz' (Fig. 3B). Las tasas de crecimiento promedio en longitud fueron 0.017, 0.005, 0.007 y 0.008 mm día⁻¹ y en diámetro, 0.005, 0.001, 0.005 y 0.002 mm día⁻¹ de 'Puebla', 'Supremo', 'CP Precoz' y 'Zacatecas', respectivamente. La tasa de crecimiento mayor correspondió a 'Puebla', que es la variedad con floración más temprana. Para las otras tres variedades, las tasas de crecimiento fueron similares, la diferencia en el tamaño de las yemas está relacionada con las características propias de cada variedad y la duración del letargo.

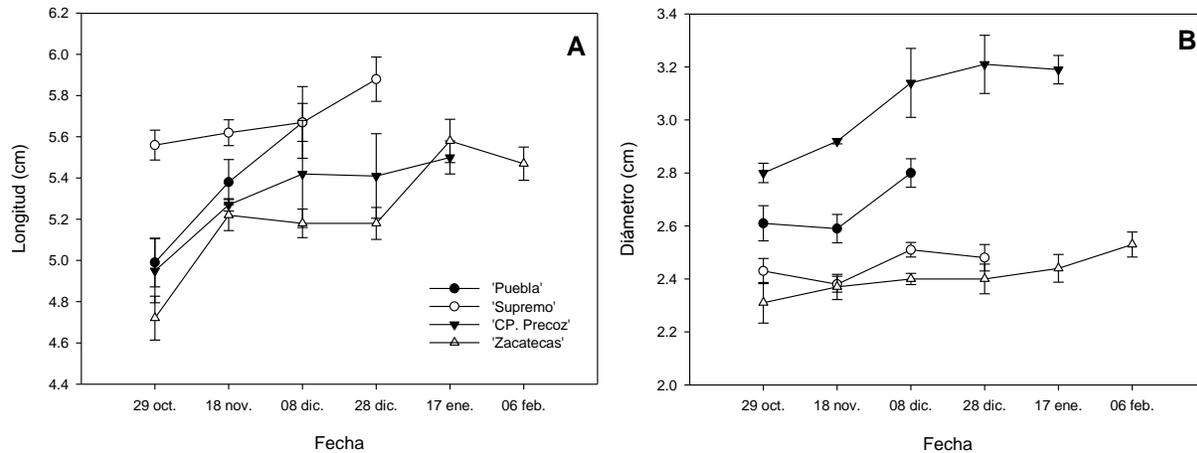


Figura 3. Dinámica del crecimiento en longitud (A) y diámetro (B) de yemas en letargo, de cuatro variedades de duraznero. Los valores son promedio de 10 yemas \pm ES ($P < 0.05$).

Vascularización de la yema floral. Cuando las yemas florales de las cuatro variedades se encontraban en letargo, etapas 1 y 2 (finales de octubre), el xilema solo se observó en el primer tercio basal del pedúnculo (Fig. 4A) y los haces vasculares se dirigían a las escamas de las yemas (Fig. 5, etapas 1 y 2) pero en la región distal del pedúnculo, el hipanto, el cáliz, la corola y el androceo, solo se observaron filamentos de procambium y elementos cribosos de floema (Fig. 4A).

Los elementos de vaso presentaron una maduración acrópeta; desde el pedúnculo hacia la base del hipanto, sépalos, pétalos, base de los filamentos de las anteras y finalmente el gineceo (Fig. 5). 'Puebla' (de floración temprana) estableció su conexión vascular entre el pedúnculo floral y los verticilos estériles (cáliz y corola) (Fig. 4C y Fig. 4D), a finales de otoño (08 de diciembre) en 'Supremo' ocurrió a finales de diciembre, en 'CP Precoz' a mediados de enero (ambos de floración intermedia), y en 'Zacatecas' (de floración tardía) a mediados de febrero. Este evento determinó el final del estado de yema en letargo en cada cultivar (Fig. 2).

En los cuatro cultivares, durante yema hinchada, se estableció la vascularización de los filamentos de las anteras con un haz central anficribal (Fig. 4F), el desarrollo de haces colaterales en el carpelo (Fig. 4E). Durante la etapa de cáliz visible se estableció la vascularización del estilo al estigma (Fig. 5). El ovulo durante su desarrollo estuvo vascularizado solo por ramas de procambium provenientes del hipanto (Fig. 7D) y se mantuvo durante toda su diferenciación y crecimiento hasta estambres visibles, en apertura floral ya no se realizaron observaciones anatómicas.

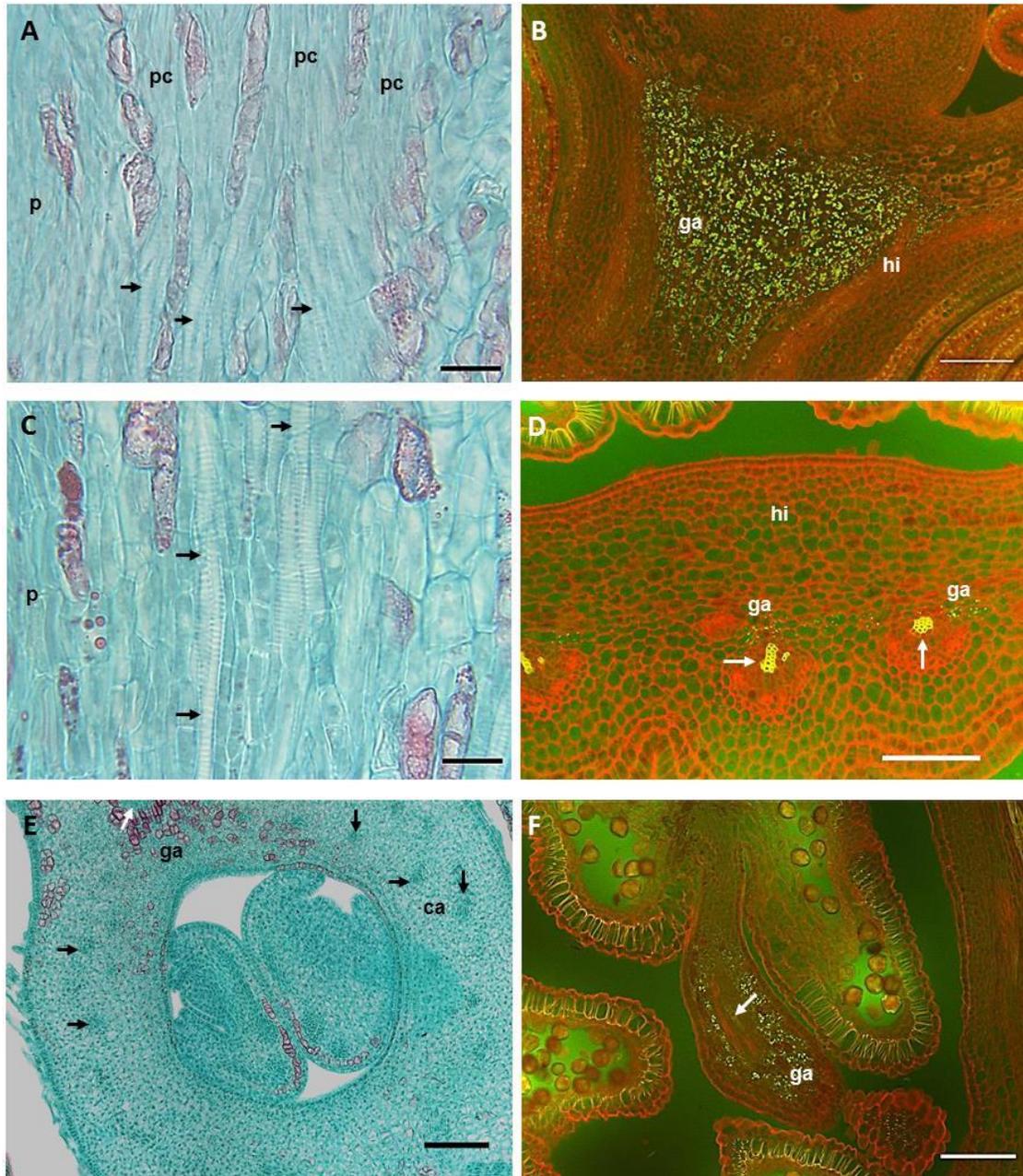


Figura 4. Conexión vascular, desarrollo del xilema y granos de almidón en yemas florales de duraznero, 'Puebla', 'Supremo', 'CP Precoz' y 'Zacatecas', a partir de mediados de otoño a finales de invierno. A. Discontinuidad del xilema en el pedúnculo floral y el primordio. B. Granos de almidón en la base del hipanto. C. Conexión vascular entre pedúnculo y los verticilos vegetativos. D. Haces vasculares maduros en la base del hipanto, alrededor células de parénquima con granos de almidón (fluorescentes). E. Establecimiento del xilema en el carpelo, células contiguas de parénquima con granos de almidón. F. Filamento del estambre con granos de almidón y haz vascular central (anficribal). Flechas indican elementos de vaso maduros; p, pedúnculo; pc, procambium; ga, granos de almidón hi, hipanto; ca, carpelo; ob, obturador; es, estilo. Escalas: A y C = 20 μ m; B, D y F = 100 μ m; E = 500 μ m.

Granos de almidón. En las cuatro variedades, la aparición y distribución de granos de almidón estuvo asociada a los eventos de diferenciación y morfogénesis de la yema floral. Los primeros granos de almidón aparecieron en la base del hipanto de las yemas en letargo. La cantidad de almidón aumentó a su máximo al final del letargo (Figs. 4B y 5) e inicios del estado de yema hinchada (Fig. 5). A partir de la etapa anatómica 8, los granos de almidón disminuyeron progresivamente en esta zona hasta casi desaparecer en el estado de estambres visibles (Fig. 5).

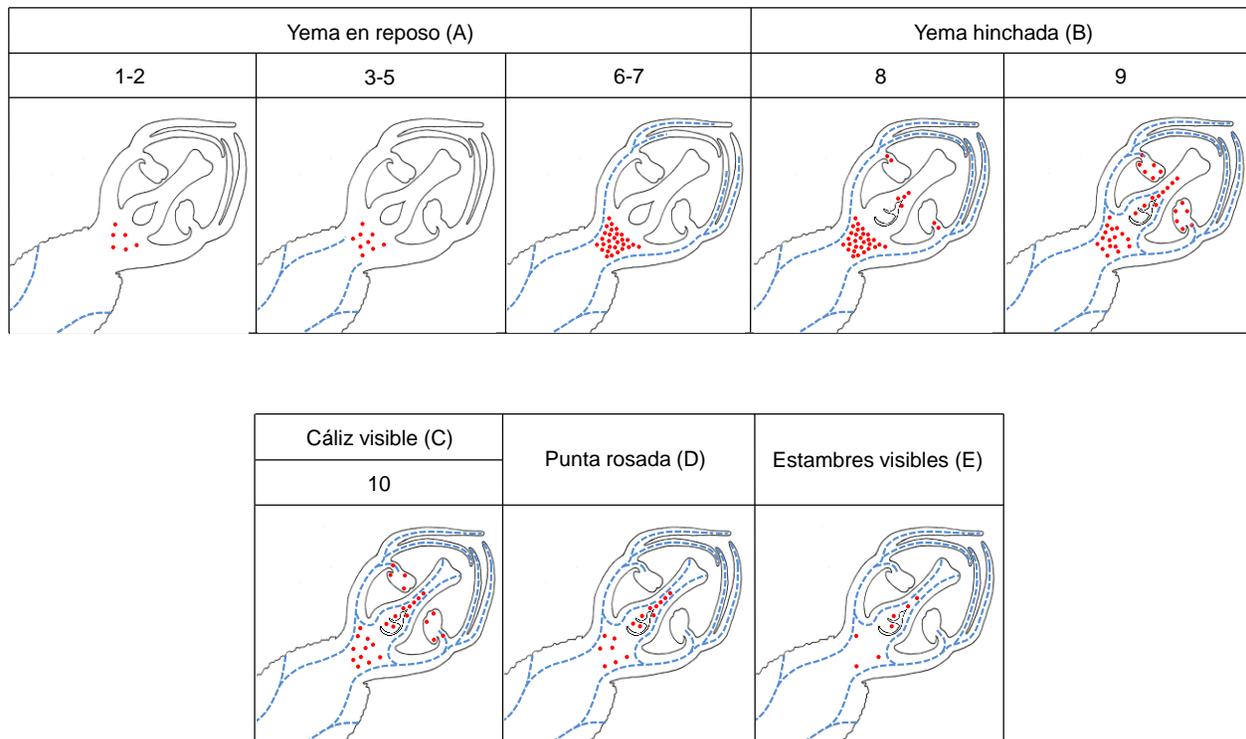


Figura 5. Secuencia de la vascularización y aparición de granos de almidón en los estados fenológicos (A, B, C, D, E) y las etapas del desarrollo anatómico (1-10) de yemas florales observada en cuatro variedades de duraznero.

A principios del estado de yema hinchada (etapa 8), se observaron granos de almidón en los filamentos de las anteras (Fig. 5), previo a la vascularización del filamento, la presencia continuó en la etapa 9 (Fig. 4F); mientras que en la etapa 10 (cáliz visible) no se observaron (Fig. 5). En la etapa 9 de yema hinchada, se observaron granos de almidón en los residuos de las células del tapete y en las capas de las células parietales, antes y al inicio de la micro-gametogénesis; en cáliz visible disminuyeron y en punta rosada ya no se presentaron (Fig. 5). También a principios de yema hinchada, se observaron granos de almidón en la parte inferior de los estilos, contigua al obturador (Fig. 4E) y se incrementaron en yema hinchada (Fig. 5). A medida que se desarrolló el obturador, los granos de almidón se incrementaron en este tejido (Fig. 5); y cuando terminó la

diferenciación del estigma y obturador, disminuyeron marcadamente (Fig. 5). A partir de las etapas 9 y 10, se observó la presencia de granos de almidón en la nucela y en los tegumentos del ovulo cerca del micrópilo. En la nucela se presentaron granos de almidón hasta estambres visibles (Fig. 5).

Desarrollo de la antera. Las anteras de las cuatro variedades presentaron cambios anatómicos desde el estado de yema en letargo hasta estambres visibles (Cuadro 1).

En la primera fecha de muestro (29 de octubre), 'Zacatecas', estuvo en la etapa 1 (Cuadro 1); mientras que 'Puebla', 'Supremo' y 'CP Precoz', presentaron anteras tetraesporangiadas, células esporógenas con núcleos prominentes, delimitadas por una epidermis uniestratificada (Fig. 6A), etapa 2. Veinte días después (18 de noviembre), 'Puebla' y 'CP Precoz', ya estaban en la etapa 3 y 4. En las anteras de 'Puebla', las células tapetales fueron más prominentes y con citoplasma más denso que rodeaban a las CMP, etapa 4 (Fig. 6B). 'Zacatecas' progresó a la etapa 2 y 'Supremo' no presentó cambios (etapa 2).

A finales de otoño (08 de diciembre), algunas anteras de 'Puebla' (de floración temprana) estaban en profase de la meiosis, etapa 6 (Fig. 6C), y en otras se observaron tétradas tetraédricas (Fig. 6D) y microsporas liberadas (Fig. 6E), etapa 7. En contraste en esta fecha, 'Supremo' y 'CP Precoz' (de floración intermedia) se presentaron sin cambios visibles respecto al último muestreo, etapa 2 y 3, respectivamente. 'Zacatecas' avanzó a la etapa 3 en este periodo (Cuadro 1).

Al inicio del invierno (28 de diciembre), 'Puebla' ya estaba en yema hinchada, en algunas anteras el endotecio habían incrementado su tamaño, las microsporas se encontraban en mitosis; en algunas yemas la microspora presentó la célula vegetativa y generativa, etapa 8 (Fig. 6G). En otras yemas, la pared del grano de polen había engrosado, etapa 9 (Fig. 6I). Los microesporangios de 'Supremo', 'CP Precoz' y 'Zacatecas' continuaban sin cambios visibles, etapa 2, 3 y 3 respectivamente.

El 17 de enero, las yemas de 'Puebla' presentaron cáliz visible, la pared secundaria de las células del endotecio tenía numerosos engrosamientos anticlinales y tangenciales, y los granos de polen una pared gruesa, etapa 10 (Fig. 6I). En las anteras de 'Supremo', en yema hinchada, se había iniciado el depósito de esporopolinina en el grano de polen, etapa 9 (Fig. 6G) y se iniciaron los engrosamientos anticlinales y tangenciales de las células del endotecio. Las anteras de 'CP Precoz' y 'Zacatecas' estaban en la etapa 4 (Cuadro 1).

A principios de febrero, en 'Puebla' (floración temprana) ya había ocurrido la floración. Las yemas en cáliz visible de 'Supremo' estaban en etapa 10 (Cuadro 1). Las yemas de 'CP Precoz' tenían cáliz visible (estado C) y punta rosada (estado D). Algunas anteras de punta rosada presentaron granos de polen con paredes engrosadas, un incremento de los engrosamientos anticlinales y tangenciales de las células del endotecio y epidermis con cutícula gruesa (Fig. 6I); y otras ya presentaban adelgazamiento del estomio.

A finales de febrero, en 'Supremo' ya había pasado la plena floración, 'CP Precoz' tenía yemas con estambres visibles y flores abiertas (Fig. 2 y Cuadro 1). 'Zacatecas', presentaba yemas en letargo e hinchadas, en éstas últimas las células del endotecio se habían alargado, las microsporas no se liberaron normalmente y algunas estaban desintegradas (Fig. 6F).

El 17 de marzo (final del invierno), 'Zacatecas' (floración tardía) tenía yemas hinchadas y en punta rosada. Esta variedad presentó anormalidades en el desarrollo de los granos de polen. En yemas hinchadas las microsporas eran anormales y se encontraban adheridas parcialmente en los residuos de calosa, lo que les impidió una liberación normal (Fig. 6F).

En las yemas en punta rosada, algunos microesporangios contenían microsporas que detuvieron su desarrollo o se desintegraron, granos de polen en desarrollo asincrónico, y residuos abundantes (Fig. 6H). Otros microesporangios contenían granos de polen obliterados (abortivos) y algunos con engrosamiento irregular de la pared (Fig. 6J). En los primeros días de la primavera, finales de marzo, las yemas florales llegaron a la apertura floral.

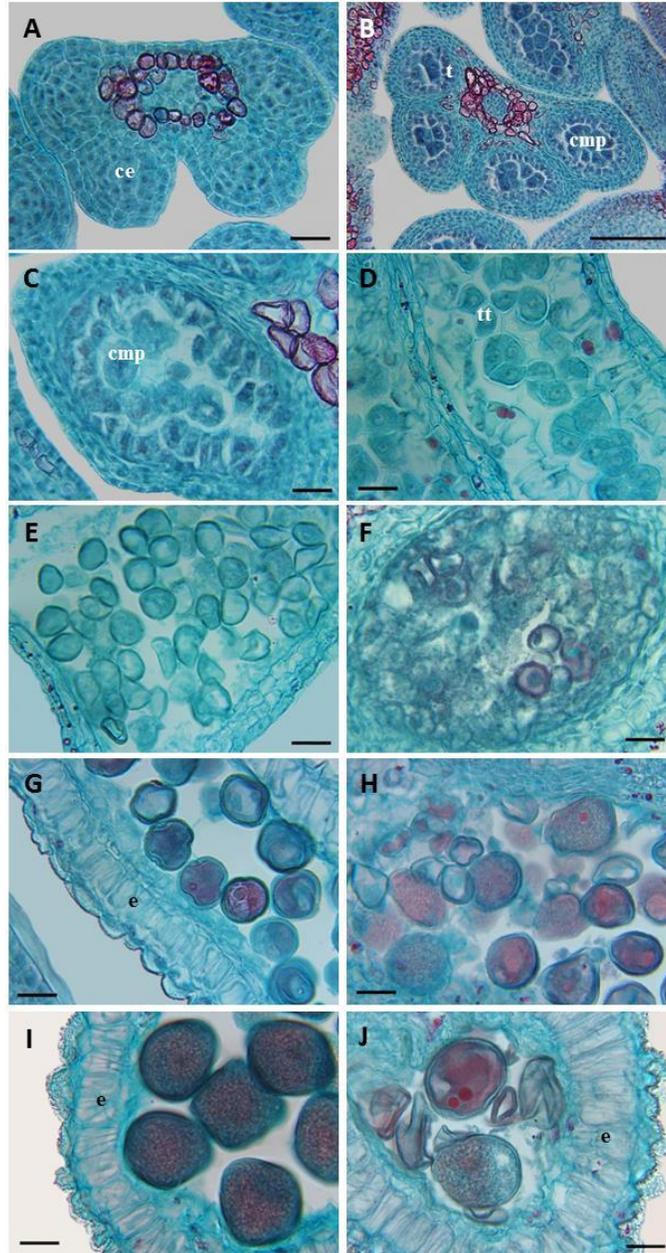


Figura 6. Proceso de la microsporogénesis (A, B, C y D); proceso normal de la microgametogénesis de 'Puebla', 'Supremo' y 'CP Precoz' (E, G y I); y desarrollo anormal del polen de 'Zacatecas' (F, H y J). A. Antera tetrasporangiada con células esporógenas. B. Células tapetales que rodean a las CMP. C. CMP en profase de la meiosis. D. Tétradas tetraédricas. E. Liberación de las microsporas. F. Defecto en la liberación de microsporas. G. Etapas de mitosis en los granos de polen. H. Desintegración de microsporas y asincronía en meiosis. I. Engrosamientos tangenciales y anticlinales de la pared del endotecio y depósito de esporopolinina en el grano de polen. J. Defecto en la formación de pared del grano y obliteración del mismo. ce, células esporógenas; t, tapete; cmp, células madre de polen; tt, tétradas tetraédricas; e, endotecio. Escalas: A, C-J = 20 µm; B = 100 µm.

Desarrollo del gineceo. En las yemas en letargo, de ‘CP Precoz’, ‘Supremo’ y ‘Zacatecas’, se desarrolló únicamente la cavidad locular, incrementando así su tamaño (Figs. 7A y 7C). Mientras que en ‘Puebla’, las protuberancias meristemáticas de los óvulos comenzaron a desarrollarse en la etapa 4 (Fig. 7B); y al final del letargo (etapa 7), el obturador había iniciado su diferenciación (Fig. 7D); en yema hinchada continuaron su desarrollo y en cáliz visible, la nucela, el obturador y el micrópilo estaban completamente diferenciados y aumentados en su tamaño (Fig. 7E).

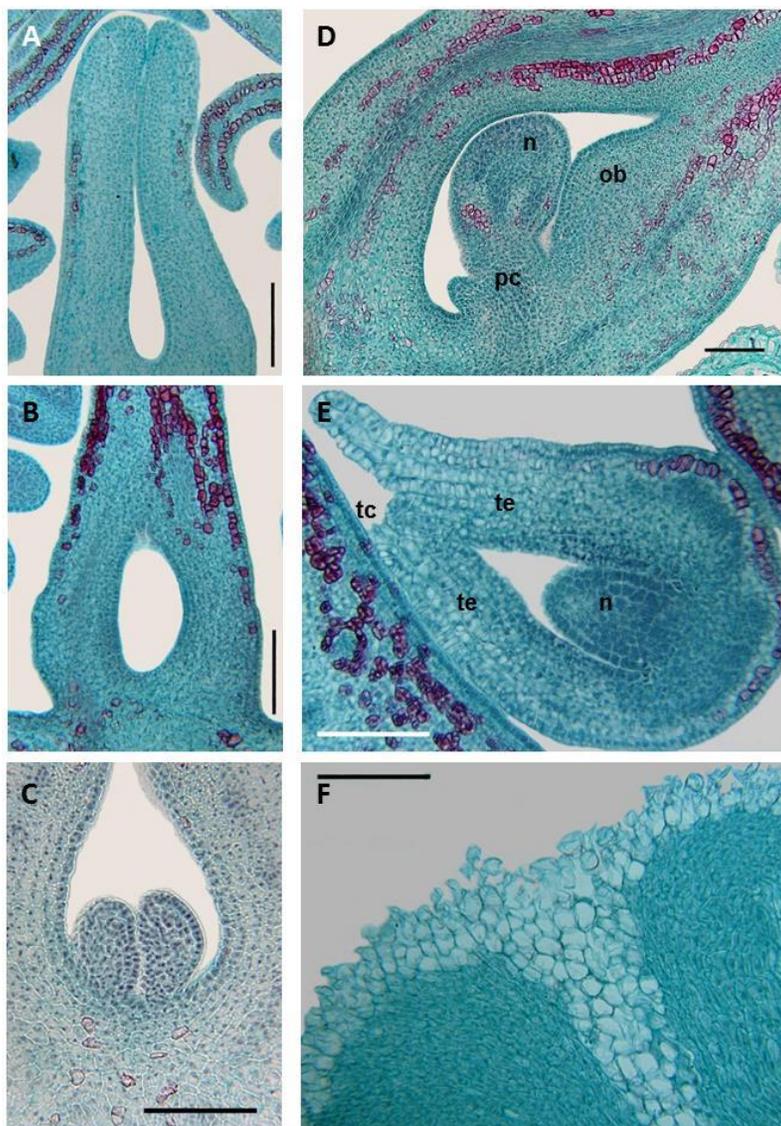


Figura 7. Desarrollo del ovario común a ‘Puebla’, ‘Supremo’, ‘CP Precoz’ y ‘Zacatecas’. A. Diferenciación temprana del carpelo. B. Cavidad locular. C. Protuberancias meristemáticas de los óvulos. D. Levantamiento del ovulo y desarrollo del obturador. E. Desarrollo de la nucela, alargamiento de los tegumentos, micrópilo joven. F. Diferenciación de papilas secretoras en el estigma. n, nucela; ob, obturador; pc, procambium; te, tegumentos; tc, tejido de conducción del tubo polínico. Escalas: A-C, E y F = 100 μ m; D = 500 μ m.

El desarrollo de la nucela y obturador se presentó en un periodo de 20 días, entre el último muestreo de yema en letargo y el muestro de yema hinchada, en las variedades, 'CP Precoz', 'Supremo' y 'Zacatecas (Fig. 1). En el estado de cáliz verde, el obturador (Fig. 7E), la nucela y el micrópilo (Figs. 7E y 7D) estaban completamente diferenciados.

Desde el periodo de cáliz verde a estambres visibles, el estigma desarrolló papilas secretoras en la superficie (Fig. 7F). En yema con estambres visibles, inició la diferenciación del saco embrionario.

DISCUSIÓN

Las yemas florales de duraznero tuvieron cambios morfológicos y anatómicos durante todo el periodo de muestreo (otoño-invierno); es decir, desde el estado de letargo hasta estambres visibles y no se observó detención en su crecimiento. Las yemas en letargo, que aparentemente no sufren cambios externos, mostraron incremento gradual en la longitud y diámetro, como lo observó Reinoso *et al.* (2002). A principios de otoño, las yemas florales en letargo no están vascularizadas; el xilema solo estuvo presente en la base del pedúnculo. Esta condición también ocurre en seis especies de *Prunus* (*P. armeniaca*, *P. avium*, *P. cerasus*, *P. persica*, *P. salicina* y *P. sargentii*) (Ashworth, 1982; Ashworth, 1984; Reinoso *et al.*, 2002). La discontinuidad del xilema o ausencia de elementos traqueales maduros en la yema floral es una de las características que le confiere la capacidad de superenfriamiento (temperaturas bajo cero °C) (Ashworth y Rowse, 1982; Wisniewski y Davis, 1989), y evita el congelamiento de la yema por formación de hielo en los elementos de vaso (Ashworth, 1982; Ashworth, 1984).

Al inicio del letargo, los verticilos solo presentaron filamentos de procambium y floema, como se ha mencionado en trabajos previos (Ashworth, 1982; Ashworth, 1984; Luna *et al.*, 1990; Reinoso *et al.*, 2002). La literatura reporta que la conexión vascular entre el pedúnculo y los verticilos de la yema floral ocurren al final del letargo (Ashworth, 1984; Reinoso *et al.*, 2002; Bonhomme *et al.*, 2005). Los resultados de la presente investigación indican que el establecimiento de la vascularización de la yema no es un evento que se de en un momento determinado, por el contrario la diferenciación es progresiva y sucede durante todo el letargo y después de este periodo, donde la maduración del xilema es acrópeta. La maduración del xilema en los filamentos de los estambres de yemas de duraznero, sucedió en yema hinchada, en contraste en *Prunus armeniaca* este evento sucede antes (final del endoletargo) (Julian *et al.*, 2011). En la literatura se menciona que el tejido vascular es reconocible en todos los verticilos al

final del letargo, sin realizar una descripción del proceso de vascularización (Reinoso *et al.*, 2002). Los resultados de la presente investigación indican que la maduración del xilema es progresiva: el fin del letargo coincide únicamente con la conexión vascular de los verticilos estériles, y a partir de este momento inicia la diferenciación rápida del xilema en los filamentos de los estambres, y en el carpelo, pero la maduración de los elementos de vaso es más tardía en el óvulo. Lo anterior confirma la propuesta de que la vascularización de los verticilos no es simultánea en contraste con estudios anteriores ((Reinoso *et al.*, 2002; Julián *et al.*, 2014). Después del establecimiento de la conexión vascular entre el pedúnculo floral y los verticilos, la diferenciación y crecimiento del androceo y gineceo entraron a una fase de maduración rápida antes de llegar a la apertura floral. En este periodo las yemas pierden la capacidad de superenfriamiento (Ashworth, 1984) y son más vulnerables a las heladas (Julian *et al.*, 2007).

La acumulación y degradación de granos de almidón en diferentes áreas de la yema floral estuvo estrechamente relacionada con los procesos de organogénesis. La acumulación de almidón en el hipanto precedió a la conexión vascular en el pedúnculo floral y a la maduración de los elementos de vaso en el hipanto, cáliz y corola. Aunque no se ha reportado en la literatura específicamente la presencia de almidón en el hipanto, se sabe que la acumulación del almidón en las yemas florales de duraznero (Gordon *et al.*, 2006) y de olivo (De la Rosa y Rallo, 2000) es usado como fuente de energía para crecimiento y diferenciación. A inicios de otoño y parte del invierno, en las primeras etapas de desarrollo de la yema floral, los granos de almidón en el hipanto fueron pocos, pero al final del letargo estos aumentaron. Se han reportado incrementos de almidón en yemas florales de *Prunus persica* (Bonhomme *et al.*, 2005; González-Rossia *et al.*, 2008), *Rubus idaeus* (Palonen, 1999), *Pyrus pyrifolia* (Ito *et al.*, 2002), *Cornus sericea* (Ashworth *et al.*, 1993) y *Populus x canadensis* (Elle y Sauter, 2000). La presencia temporal de almidón en los filamentos del estambre y células intermedias parietales de la antera fue anticipada a la conexión vascular en los estambres y al proceso de microgametogénesis en el grano de polen. Algo similar fue observado en los estambres de yemas florales de *Prunus armeniaca*, aunque la presencia del almidón en las células intermedias ocurrió antes de la microsporogénesis (formación de microsporas) (Julian *et al.*, 2011).

En las variedades de duraznero del presente estudio, la presencia de almidón en el estilo se relacionó con el establecimiento del xilema del carpelo, con el levantamiento del óvulo y del obturador. Así, al alcanzarse la diferenciación y crecimiento de todos los verticilos de la yema

floral, el almidón se degradó en el hipanto y estambres, y en el gineceo disminuyó considerablemente. Esta disminución también ocurrió al diferenciarse el xilema en los estambres de chabacano (Julian *et al.*, 2011) y en inflorescencias de olivo (De la Rosa y Rallo, 2000). Los restos de almidón en la nucela, micrópilo, obturador y estigma en el estado de estambres visibles suponen condiciones favorables para el crecimiento del tubo polínico y la fecundación.

El desarrollo estructural del grano de polen fue similar entre variedades; la formación de microsporas, terminó al final del letargo, la microgametogénesis inició en yema hinchada y termina en cáliz visible, tal como lo reportan Reinoso *et al.* (2002). El proceso de microesporogénesis y microgametogénesis fue normal para 'Puebla', 'Supremo' y 'CP Precoz' pero no para 'Zacatecas'. Éste tuvo una liberación irregular de las microsporas, la mayoría de los granos de polen fueron abortados, y el polen restante no engrosó su pared uniformemente. Esta respuesta estuvo relacionada a la falta de acumulación de frío, ya que variedades intermedias y tardías cultivadas en el estado de Zacatecas requieren un mínimo de 800 unidades frío para una apertura floral normal (Rumayor *et al.*, 2009); los requerimientos de frío deben ser satisfechos días previos a la interrupción del letargo, 'Zacatecas' culminó este periodo a mediados de febrero, fecha en la que se habían acumulado en promedio 720 UF en el sitio experimental. Se sabe que la deficiencia de frío provoca anomalías en el gameto masculino, como degeneración de contenido de los granos de polen (aborto de polen), o la reducción de producción y germinación de los granos de polen (Nava *et al.*, 2009) y la apertura de flores es anormal (Bonhomme *et al.*, 2005). Mientras que 'Puebla' inició la diferenciación de los óvulos a finales de la etapa 4 de las yemas en letargo, 'CP Precoz', 'Supremo' y 'Zacatecas' lo hacen rápidamente cuando se termina este periodo. Reinoso *et al.* (2002) reportan que las protuberancias meristemáticas de los óvulos comienzan a diferenciarse en la etapa 3 para el cultivar 'Novedad de Córdoba'. En el presente estudio la diferenciación completa del gineceo culminó con una superficie de papilas secretoras en el estigma y el saco embrionario en la nucela justo antes de la apertura floral como se ha reportado previamente (Reinoso *et al.*, 2002). Los resultados de este trabajo, establecen una relación entre el desarrollo anatómico y la morfología de las yemas florales de 'Puebla', 'Supremo', 'CP Precoz' y 'Zacatecas'. También, indican que la acumulación de granos de almidón en la yema se requiere para la diferenciación del xilema, para el desarrollo de los granos polen y del ovario. La vascularización de la yema floral es progresiva y acrópeta; inicia en letargo en el pedúnculo floral, se establece con los verticilos vegetativos al final de este periodo, continua

en yema hinchada con los estambres y carpelo, y en cáliz visible se establece hasta el estigma. La variedad 'Zacatecas' (tardía) en las condiciones experimentales con menos acumulación de frío que en el norte del país, desarrolló granos de polen abortivos con defectos en la formación de su pared. Estos resultados contribuyen con conocimiento nuevo para el entendimiento fino del desarrollo de la yema floral de estas variedades contrastantes, al entendimiento del papel del almidón en los procesos de diferenciación de estructuras reproductivas y del establecimiento de la conexión vascular. Desde el punto de vista práctico estos resultados proporcionan información útil para experimentos futuros y mejoras en el manejo agronómico del duraznero, sobre todo para manipular el periodo de floración para evadir o atenuar el daño por heladas.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al CONACyT por la beca (No. 103525) otorgada para sus estudios de doctorado. Agradecemos al M.C. Jorge Manuel Valdés Carrasco por su valiosa asesoría en la edición de las fotografías.

LITERATURA CITADA

- Andreini L., García de Cortázar-Atauri I., Chuine I., Viti R., Bartolini S., Ruiz D., Campoy J.A., Legave J.M., Audergon J. y Bertuzzi P. 2014. Understanding dormancy release in apricot flower buds (*Prunus armeniaca* L.) using several process-based phenological models. *Agricultural and Forest Meteorology* 184:210-219.
- Arora R. y Wisniewski M. 1994. Cold acclimation in genetically related (sibling) deciduous and evergreen peach, *Prunus persica*. II. A60-kilodalton bark protein in cold acclimated tissues of peach is heat-stable and related to the dehydrin family of proteins. *Plant Physiology* 105:95-101.
- Arora R., Rowland L. y Tanino K. 2003. Induction and release of bud dormancy in woody perennials a science comes of age. *HortScience* 38:911-921.
- Arora R., Wisniewski M. y Scorza R. 1992. Cold acclimation in genetically related (sibling) deciduous and evergreen peach, *Prunus persica*. I. Seasonal changes in cold hardiness and polypeptides of bark and xylem tissues. *Plant Physiology* 99:1562-1568.

- Ashworth E.N. 1982. Properties of peach flower buds which facilitate supercooling. *Plant Physiology* 70:1475-1479.
- Ashworth E.N. 1984. Xylem development in *Prunus* flower buds and the relationship to deep supercooling. *Plant Physiology* 74:862-865.
- Ashworth E. y Rowse D. 1982. Vascular development in dormant *Prunus* flower buds and its relationship to supercooling. *HortScience* 17:790-791.
- Ashworth E., Stirn V. y Volenec J. 1993. Seasonal variations in soluble sugars and starch within woody stems of *Cornus sericea* L. *Tree Physiology* 13:379-388.
- Atkinson C., Brennan R. y Jones H. 2013. Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. *Environmental and Experimental Botany* 91:48-62.
- Baggiolini M. 1952. Les stades repérés des arbres fruitiers á noyau. *Revue romande d'Agriculture, Viticulture et d'Arboriculture* 8:3-4.
- Bonhomme M., Rageau R., Lacoite A. y Gendraud M. 2005. Influences of cold deprivation during dormancy on carbohydrate contents of vegetative and floral promordia and nearby structures of peach buds (*Prunus persica* L. Batch). *Scientia Horticulturae* 105:223-240.
- Bonhomme M., Rageau R., Richard J.P., Erez A. y Gendraud M. 1999. Influence of three contrasted climatic conditions on endodormant vegetative and floral peach buds: analyses of their intrinsic growth capacity and their potential sink strength compared with adjacent tissues. *Scientia Horticulturae* 80:157-171.
- Campoy J.A., Ruiz D. y Egea J. 2011. Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Scientia Horticulturae* 130:357-372.
- Cortés J.F., Turrent F.A., Díaz P.V., Hernández E.R., Mendoza R. y Aceves E. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. (SAGARPA, Ed.) México: Colegio de Postgraduados. <sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/03%20MILPA%20INTERCALADA%20CON%20FRUTALES.pdf> (Consultado 04 abril 2014)
- De la Rosa R. y Rallo L. 2000. Olive floral bud growth and starch content during winter rest and spring budbreak. *HortScience* 35:1223-1227.
- Die J. y Rowland L. 2014. Elucidating cold acclimation pathway in blueberry by transcriptome profiling. *Environmental and Experimental Botany Article in Press*.

- Durner E. 1989. Cryoprotection of deacclimating peach flower buds by ethephon alteration of pistil carbohydrate content. *Cryobiology* 26:290-296.
- Durner E. y Gianfagna T. 1992. Interactions of ethephon, white washing, and dormant oil on peach pistil growth, hardiness, and yield. *HortScience* 27:104-105.
- Elle D. y Sauter J. 2000. Seasonal changes of activity of a starch granule bound endoamylase and a starch phosphorylase in poplar wood (*Populus x canadensis* Moench "robusta") and their possible regulation by temperature and phytohormones. *Journal Plant Physiology* 156:731-740.
- Faust M., Erez A., Rowland L., Wang S. y Norman, H. 1997. Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction maintenance, and release. *HortScience* 32:623-629.
- Faye F. y Le Floch F. 1999. Changes in the activity of peach bud adenosine kinase from dormancy period to bud break. *Journal of Plant Physiology* 154:471-476.
- González-Rossia D., Reig C., Dovic V., Gariglio N. y Agustí M. 2008. Changes on carbohydrates and nitrogen content in the bark tissues induced by artificial chilling and its relationship with dormancy bud break in *Prunus* sp. *Scientia Horticulturae* 118:275-281.
- Gordon D., Damiano C. y DeJong T. 2006. Preformation in vegetative buds of *Prunus persica*: factors influencing number of life primordia in overwintering buds. *Tree Physiology* 26:537-544.
- Govaerts B., Barrera-Franco M.G., Limón-Ortega A., Muñoz-Jiménez P., Sayre D.K. y Deckers J. 2008. Clasificación y evaluación edafológica de tres sitios experimentales del altiplano central de México. *TROPICULTURA* 26:2-9.
- Horvath D. 2009. Common mechanisms regulate flowering and dormancy. *Plant Science* 177:523-531.
- Ito A., Hayama H. y Kashimura Y. 2002. Sugar metabolism in buds during flower bud formation: a comparison of two Japanese pear [*Pyrus pyrifolia* (Burm) Nak.] cultivars possessing different flowering habits. *Scientia Horticulturae* 96:163-175.
- Julian C., Herrero M. y Rodrigo J. 2007. Flower bud drop and pre-blossom frost damage in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality* 81:21-25.

- Julian C., Herrero M. y Rodrigo J. 2014. Anther meiosis time is related to winter cold temperatures in apricot (*Prunus armeniaca* L.). Environmental and Experimental Botany 100:20-25.
- Julian C., Rodrigo J. y Herrero M. 2011. Stamen development and winter dormancy in apricot (*Prunus armeniaca*). Annals of Botany 108:617-625.
- Luna V., Lorenzo E., Reinoso H., Tordable M., Abdala G., Pharis R. y Bottini R. 1990. Dormancy en peach (*Prunus persica* L.) flower buds I. Floral morphogenesis and endogenous gibberellins at the end of the dormancy period. Plant Physiology 93:20-25.
- Nava G., Dalmago G., Bergamaschi H., Paniz R., dos Santos R. y Marodin G. 2009. Effect of high temperatures in pre-blooming and blooming periods on ovulo formation, pollen grains and yield of 'Granada' peach. Scientia Horticulturae 122:37-44.
- Oncelay C., Daley L., Vines H., Couvillon G. y Hendershott C. 1979. Seasonal fluctuation in malate deshydrogenase, phosphatase and proteinase activity of dormant peach flower buds. Scientia Horticulturae 11:229-239.
- Pacini E. 2010. Relationships between tapetum, loculus, and pollen during development. International Journal of Plant Sciences 171:1-11.
- Palonen P. 1999. Relationship of seasonal changes in carbohydrates and cold hardiness in canes and buds of three red raspberry cultivars. Journal American Society Horticulturae Science 124:507-513.
- Reig G., Iglesias I., Miranda C., Gatius F. y Alegre S. 2013. How does simulated frost treatment affect peach [*Prunus persica* (L.)] flowers of different cultivars from worldwide breeding programmes?. Scientia Horticulturae 160:70-77.
- Reinoso H., Virginia L., Pharis R. y Bottini R. 2002. Dormancy in peach (*Prunus persica*) flower buds. V. Anatomy of bud development in relation to phenological stage. Canadian Journal of Botany 80:656-663.
- Rodrigo J. 2000. Spring frost in deciduous fruit trees-morphological damage and flower hardiness. Scientia Horticulturae 85:155-173.
- Rohde A. y Bhalerao R. 2007. Plant dormancy in the perennial context. TRENDS in Plant Science 12:217-223.

- Rumayor R. A. F., Llamas L.J., Melero M. V. y Zegbe D. J. A. 2009. Descripción fenotípica de material genético de durazno para Zacatecas. INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Zacatecas. Publicación especial 16. 22 p.
- Ruzin S. 1999. Plant Microtechnique and Microscopy. Oxford University Press, New York.
- Wisniewski M. y Davis G. 1989. Evidence for the involvement of a specific cell wall layer in regulation of deep supercooling of xylem parenchyma. *Plant Physiology* 91:151-156.
- Yamane H., Ooka T., Jotatsu H., Sasaki R. y Tao R. 2011. Expression analysis of PpDAM5 and PpDAM6 during flower bud development in peach (*Prunus persica*). *Scientia Horticulturae* 129:844-848.
- Yue T., Dong-sheng G., Ling L., Xiu-de C. y Ai-hong X. 2010. Respiratory response of dormant nectarine floral buds on chilling deficiency. *Agricultural Sciences in China* 9:1448-1454.

CAPÍTULO II

RESPUESTA DEL DURAZNERO CON COMPOSICIÓN BI-VARIETAL EN UN AMBIENTE CON INCIDENCIA DE HELADAS. PARTE I: TEMPERATURA, FLORACIÓN Y AMARRE DE FRUTO

RESPONSE OF PEACH TREES COMPOSED BY TWO CULTIVARS IN AN ENVIRONMENT OF FROST INCIDENCE. PART I: TEMPERATURE, BLOOM AND FRUIT SET

RESUMEN

En México, la productividad del duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] está afectada principalmente por las heladas que ocurren en la floración y amarre de fruto, llegando a causar hasta la pérdida total de la cosecha. Se probó la hipótesis que el uso de variedades precoces injertadas sobre variedades tardías (composición bi-varietal) puede atemperar el efecto depresivo de las heladas de radiación en flores y frutos a diferencia de árboles uni-varietales precoces alternados con tardíos. El objetivo fue evaluar la respuesta de variedades precoces (‘CP-Precoz’ y ‘Puebla’) y tardías (‘Supremo’ y ‘Zacatecas’) de duraznero a la composición varietal del árbol, y a la fertilización de NPK y pollinaza en la floración y amarre de fruto en un ambiente con incidencia de heladas. También se analizó la temperatura del aire y del árbol y su relación con la floración. Se estableció un experimento factorial 2⁵ en parcelas divididas en el Campo Experimental Valle de México en el 2005 y fue evaluado durante el invierno 2011-2012. El estrato medio superior del árbol acumuló más unidades frío que el medio inferior y se relacionó con una mayor apertura y densidad floral de los durazneros uni-varietales tardíos. La composición bi-varietal en comparación de la uni-varietal, retrasó 8 días el periodo de floración de ‘Supremo’ y 12 días con la fertilización 90-30-90 g de N- P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹. ‘Supremo’ como inter-injerto incrementó 15.3 % la apertura floral de las variedades precoces con un efecto mayor en ‘CP-Precoz’ con 3 kg de pollinaza árbol-año⁻¹; en ‘Puebla’ retrasó 16 y 22 días el inicio y final de la floración, respectivamente, en CP-Precoz retrasó cinco días el final de la floración. Las cuatro variedades incrementaron el amarre de fruto. La composición bi-varietal de durazneros es una estrategia viable para reducir el daño por heladas de radiación ya que incrementa y retrasa la floración, e incrementa el amarre de fruto.

Palabras clave: heladas de radiación, variedad precoz, variedad tardía, inter-injerto, fertilización, composición varietal del árbol.

INTRODUCCIÓN

El duraznero en el sistema agroforestal Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), confiere rentabilidad económica a las pequeñas unidades producción agrícola (Cortés *et al.*, 2005), debido su alto valor en el mercado de fruta fresca cuando la oferta es baja (SIAP, 2014). En México la productividad del duraznero está afectada principalmente por heladas durante el otoño, invierno e inicio de la primavera, periodo en que ocurre la floración y amarre de fruto que son sensibles a las bajas temperaturas. Los sistemas de calefacción o de riego, ventiladores, cubiertas y los métodos químicos para la protección contra las heladas, requieren de inversiones cuantiosas que para la mayoría de los productores minifundistas son prohibitivas. El uso de variedades tardías cuya floración y amarre de fruto ocurre al inicio de la primavera es una alternativa. Sin embargo, las variedades comerciales locales predominantes son precoces e intermedias; es decir que florecen en el invierno. Por lo tanto, el riesgo de daño por heladas durante la floración y amarre de fruto es alto y en algunos años la pérdida de la cosecha es total.

El invierno en la región subtropical del centro de México se caracteriza por noches frías y días calurosos. En las noches existe una pérdida de calor por radiación por el suelo, las plantas y el aire y se presentan inversiones térmicas a través del dosel del árbol, debido a que el aire frío más denso desciende a las zonas bajas y el aire cálido más ligero asciende (Barrales *et al.*, 2002). Los tejidos de las plantas tienen un balance energético negativo durante la noche, y su temperatura es más baja que la del aire (Leuning, 1988). En las heladas de radiación la temperatura del aire es de 0 °C o menos, medida a una altura entre 1.25 a 2.0 m por encima del nivel del suelo, dentro de una garita meteorológica, los estratos bajos del dosel pueden sufrir mayores daños por bajas temperaturas (Lhomme *et al.*, 2007). Además, las temperaturas altas de los días invernales tienen un efecto negativo en la acumulación de unidades frío durante la noche (Richardson *et al.*, 1974; Miranda *et al.*, 2013).

Los árboles frutales de clima templado, como el duraznero, requieren de frío para el crecimiento, desarrollo y apertura adecuados de las yemas florales (Atkinson *et al.*, 2013). La flor es la estructura más susceptible a bajas temperaturas debido a que pierde la capacidad de sobre-enfriamiento (Ashworth, 1984). La floración del duraznero es acrópeta, por lo que en el estrato medio inferior del dosel se incrementa el riesgo de daño por heladas de radiación que en el alto.

La ubicación del área de cultivo, la selección de variedades y prácticas de manejo adecuadas, pueden reducir el daño por heladas de radiación e incrementar la producción en regiones de

producción de duraznero templadas y subtropicales (Pérez, 2004). Los porta-injertos e inter-injertos en el duraznero confieren ventajas en adaptación, vigor, nutrición, producción y calidad del fruto a las variedades comerciales (Giorgi *et al.*, 2005; Gullo *et al.*, 2014; Malcom *et al.*, 2014). La nutrición adecuada del duraznero incrementa la tolerancia a condiciones restrictivas de crecimiento (Nario *et al.*, 2003).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta de dos variedades precoces y dos tardías de duraznero a la composición varietal del árbol, y a la fertilización con NPK y pollinaza en la floración y amarre de fruto en un ambiente con incidencia de heladas de radiación. Además, se analizó la temperatura del aire y del dosel del árbol y su relación con la floración. La hipótesis fue que durazneros compuestos de una variedad precoz en el estrato medio superior injertada en una tardía, atempera más el efecto negativo de las heladas de radiación sobre la floración y amarre de fruto que durazneros precoces alternados con tardíos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

Este experimento de duraznero con el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) se estableció en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), el “Horno”, Texcoco, estado de México, en el 2005. El sitio está localizado a 19°29'17" N y 98°53'41" O, a una altitud de 2,280 m. El clima del sitio es templado seco, con temperatura media anual de 15.45 °C, precipitación media anual de 644 mm y el suelo es Fluvisol Móllico (Govaerts *et al.*, 2008).

Diseño experimental

Se estableció un experimento factorial 2⁵, con una repetición en un diseño de Parcelas Divididas. Los dos niveles de cada factor fueron: 1) Composición varietal del árbol (Cva), bi-varietal y uni-varietal; 2) Variedad tardía (Vt), ‘Supremo’ y ‘Zacatecas’; 3) Variedad precoz (Vp), ‘CP-Precoz’ y ‘Puebla’; 4) Fertilizante N-P₂O₅-K₂O (F), 60-15-60 y 90-30-90 g árbol-año⁻¹; y 5) Pollinaza (P), cero y tres kg árbol-año⁻¹. El efecto factorial (EF) Cva y la interacción VtVpFP, se usaron como contrastes de definición para lotificar a ¼. Así, la lista de 32 tratamientos quedó fraccionada en cuatro lotes de ocho tratamientos cada uno (Cuadro 1), de acuerdo a las combinaciones 0-0, 0-1, 1-0 y 1-1 de los contrastes de definición (CD). El método de lotificación, se realizó de acuerdo con la teoría de los campos de Galois (Kempthorne, 1979).

Cuadro 1. Tratamientos del experimento factorial 2^5 con una repetición, efectos factoriales y lotificación a $1/4$.

No.	Factores					Efectos factoriales (EF)					Lotificación EF como CD		Lote
	Cva	Vt	Vp	F	P	Cva	Vt	Vp	F	P	Cva (1/2) ^o	VtVpFP (1/4) ^o	
	1	Bi-varietal	Supremo	CP Precoz	60-15-60	0	0	0	0	0	0	0	
2	Bi-varietal	Supremo	CP Precoz	60-15-60	3	0	0	0	0	1	0	1	2
3	Bi-varietal	Supremo	CP Precoz	90-30-90	0	0	0	0	1	0	0	1	2
4	Bi-varietal	Supremo	CP Precoz	90-30-90	3	0	0	0	1	1	0	0	1
5	Bi-varietal	Supremo	Puebla	60-15-60	0	0	0	1	0	0	0	1	2
6	Bi-varietal	Supremo	Puebla	60-15-60	3	0	0	1	0	1	0	0	1
7	Bi-varietal	Supremo	Puebla	90-30-90	0	0	0	1	1	0	0	0	1
8	Bi-varietal	Supremo	Puebla	90-30-90	3	0	0	1	1	1	0	1	2
9	Bi-varietal	Zacatecas	CP Precoz	60-15-60	0	0	1	0	0	0	0	1	2
10	Bi-varietal	Zacatecas	CP Precoz	60-15-60	3	0	1	0	0	1	0	0	1
11	Bi-varietal	Zacatecas	CP Precoz	90-30-90	0	0	1	0	1	0	0	0	1
12	Bi-varietal	Zacatecas	CP Precoz	90-30-90	3	0	1	0	1	1	0	1	2
13	Bi-varietal	Zacatecas	Puebla	60-15-60	0	0	1	1	0	0	0	0	1
14	Bi-varietal	Zacatecas	Puebla	60-15-60	3	0	1	1	0	1	0	1	2
15	Bi-varietal	Zacatecas	Puebla	90-30-90	0	0	1	1	1	0	0	1	2
16	Bi-varietal	Zacatecas	Puebla	90-30-90	3	0	1	1	1	1	0	0	1
17	Uni-varietal	Supremo	CP Precoz	60-15-60	0	1	0	0	0	0	1	0	3
18	Uni-varietal	Supremo	CP Precoz	60-15-60	3	1	0	0	0	1	1	1	4
19	Uni-varietal	Supremo	CP Precoz	90-30-90	0	1	0	0	1	0	1	1	4
20	Uni-varietal	Supremo	CP Precoz	90-30-90	3	1	0	0	1	1	1	0	3
21	Uni-varietal	Supremo	Puebla	60-15-60	0	1	0	1	0	0	1	1	4
22	Uni-varietal	Supremo	Puebla	60-15-60	3	1	0	1	0	1	1	0	3
23	Uni-varietal	Supremo	Puebla	90-30-90	0	1	0	1	1	0	1	0	3
24	Uni-varietal	Supremo	Puebla	90-30-90	3	1	0	1	1	1	1	1	4
25	Uni-varietal	Zacatecas	CP Precoz	60-15-60	0	1	1	0	0	0	1	1	4
26	Uni-varietal	Zacatecas	CP Precoz	60-15-60	3	1	1	0	0	1	1	0	3
27	Uni-varietal	Zacatecas	CP Precoz	90-30-90	0	1	1	0	1	0	1	0	3
28	Uni-varietal	Zacatecas	CP Precoz	90-30-90	3	1	1	0	1	1	1	1	4
29	Uni-varietal	Zacatecas	Puebla	60-15-60	0	1	1	1	0	0	1	0	3
30	Uni-varietal	Zacatecas	Puebla	60-15-60	3	1	1	1	0	1	1	1	4
31	Uni-varietal	Zacatecas	Puebla	90-30-90	0	1	1	1	1	0	1	1	4
32	Uni-varietal	Zacatecas	Puebla	90-30-90	3	1	1	1	1	1	1	0	3

Cva=Composición varietal del árbol, Vt=Variedad tardía, Vp=Variedad precoz, F=Fertilizante de NPK (g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹), P=Pollinaza (kg árbol-año⁻¹), CD=Contrastes de definición. cero y uno corresponden a nivel bajo y alto del factor, respectivamente.

Material vegetal

Los porta-injertos en todos los tratamientos fueron plantas germinadas de semilla criolla de durazno. Las variedades evaluadas fueron: 'CP Precoz' y 'Puebla', de floración temprana y 'Supremo' y 'Zacatecas' de floración tardía.

Manejo del cultivo

Las plántulas de los porta-injertos de dos meses de edad fueron trasplantadas en mayo de 2005 y fertilizadas con la fórmula 30-30-30 g de N-P₂O₅-K₂O y un kg de pollinaza árbol⁻¹.

Los durazneros uni-varietales, que se formaron de un árbol completo de la variedad tardía, 'Supremo' o 'Zacatecas', se alternaron sobre la misma hilera con uno de la variedad precoz, 'CP Precoz' o 'Puebla' (Figura 1A). Los durazneros bi-varietales fueron árboles compuestos: estrato medio superior de una variedad precoz injertado sobre una variedad tardía (estrato medio inferior) (Figura 1B). Para ambas composiciones del árbol, el injerto sobre el porta-injerto criollo se ubicó a los 15 cm del nivel del suelo, en abril de 2006; y en el árbol bi-varietal, el injerto de la variedad precoz sobre la tardía se estableció a la altura de 1.5 m del árbol, en marzo de 2007.

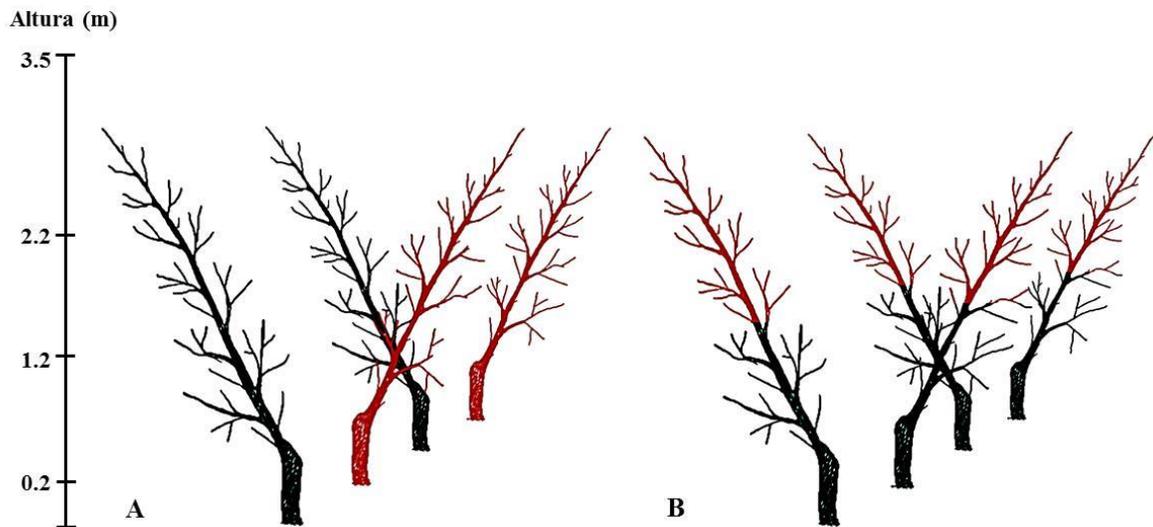


Figura 1. (A) Composición del árbol uni-varietal en que se alternan un árbol de variedad tardía (negro) y una precoz (rojo). (B) Composición del árbol bi-varietal, el árbol está compuesto por el estrato inferior de una variedad tardía (negro) y el estrato superior de una precoz (rojo). Alturas (0.2, 1.2, 2.2 y 3.5m) en las que se registró la temperatura del aire.

Los durazneros se plantaron a una distancia de un m entre ellos sobre la hilera, con una orientación norte-sur. La conducción de los árboles fue a través del sistema 'Tatura' modificado (Cortés *et al.*, 2005), dejando una rama principal al árbol, orientada de forma perpendicular a la

hilera; con una inclinación de 30° aproximadamente en relación al tronco del árbol. La rama del árbol contiguo se orientó en sentido opuesto al anterior y así sucesivamente (Figura 1). La altura promedio de los árboles a los seis años de edad fue de tres metros. La unidad experimental fue de cuatro árboles y la parcela útil de los dos árboles centrales.

El fertilizante de NPK y la pollinaza se aplicaron a partir del año 2006. En ese año las fórmulas del fertilizante sintético fueron 20-5-20 o 30-10-30 g de N-P₂O₅-K₂O por árbol, con incremento progresivo durante tres años y a partir del 2008, las fórmulas se mantuvieron en 60-15-60 o 90-30-90 según el tratamiento. Las fuentes fueron urea, superfosfato triple y cloruro de potasio. Las dosis iniciales de pollinaza fueron cero y un kg árbol⁻¹ con incremento progresivo hasta llegar a cero y tres kg árbol⁻¹ en el año 2008. Las fechas de aplicación fueron abril (1/3-1-1-0 de N, P, K, Pollinaza) y agosto (2/3-0-0-1 N, P, K, Pollinaza) de cada año. Tanto el fertilizante de NPK y la pollinaza se aplicaron en las dos zonas de goteo de la hilera de árboles, a 20 cm de profundidad. El experimento se mantuvo sin restricción de humedad, con riego por gravedad.

Variables evaluadas

Para apoyar la explicación de la respuesta de las variables de floración y amarre de fruto, se analizaron datos de temperatura del aire y de las estructuras vegetales de los durazneros.

Unidades frío (UF) y temperatura del aire. Con una microestación WatchDog 1000 Series (Spectrum Technologies, Inc.; USA) instalada en el centro de la parcela experimental; equipada con termopares externos se midió la temperatura del aire a 0.20, 1.20, 2.20 y 3.5 m de altura (Figura 1) cada 15 minutos, del 17 de noviembre de 2011 al 31 de marzo de 2012. Con esta información se calcularon las UF de acuerdo con Vega *et al.* (1990).

Temperatura de estructuras vegetales. La temperatura del árbol, tronco, flor, hoja y fruto se registró con un termómetro infrarrojo Therma Twin TN408LC (ZyTemp; China), en dos estratos del árbol, < a 1.5 m y > a 1.5 m. Para ello se eligieron, al azar, cinco fechas, 04, 09, 14, 21 y 22, en el mes de marzo de 2012. Se seleccionaron árboles representativos de dos fases fenológicas, dos con follaje de variedades precoces y dos sin follaje de variedades tardías, de la composición uni-varietal. En cada estrato del árbol, se tomaron tres lecturas a cinco cm de distancia para cada estructura vegetal para obtener un total de seis mediciones por estrato cada 15 minutos entre las 5:00 y las 7:00 h.

Floración y amarre de fruto. Para el análisis de estos eventos, se analizó el experimento en tres formas: 1) los árboles de composición uni-varietal, para evaluar el factor estrato en la variedad tardía y precoz; 2) los árboles de composición bi-varietal, para evaluar el factor inter-injerto en la variedad precoz y el factor injerto en la tardía; y 3); todos los árboles, para ver el efecto de la composición varietal del árbol en la variedad tardía y precoz. Las variables de respuesta en los árboles uni-varietales se analizaron en el estrato medio inferior <1.5m y medio superior >1.5m, y en los bi-varietales se analizaron tanto en la variedad tardía como la precoz. Se evaluó: densidad de yemas (yemas mL⁻¹), apertura floral (%), densidad floral (flores mL⁻¹), inicio de la floración (días julianos cuando se tuvo el 10 % del total de flores abiertas), floración plena (días julianos al 80 % del total de flores abiertas), final de la floración (días julianos al 100 % de flores abiertas) y amarre de fruto (%). Para ello se marcaron al azar cinco ramillas mixtas en cada estrato (10 árbol⁻¹) de todos los tratamientos a principios de noviembre del 2011. A las ramillas se les contó el número de yemas florales, longitud, flores abiertas (cada cuatro días) y número de frutos amarrados. El porcentaje de apertura floral fue calculado a partir del 100 % de yemas florales, y el de amarre de fruto a partir del 100 % de flores abiertas. La enumeración de los días julianos inició del 1 de enero de 2011 al 31 de marzo de 2012.

Análisis estadístico

Los datos de las variables de floración y amarre de fruto se analizaron con ANOVA ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$) y análisis de regresión mediante el procedimiento de selección a pasos (Stepwise) ($sle=0.10$ $sls=0.05$ y variables “mudas” o dummy) mediante el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9. Los datos de temperatura del termómetro infrarrojo se analizaron estadísticamente con análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). Los gráficos se elaboraron con el programa SigmaPlot versión 11.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Unidades Frío y temperatura del aire

A mayor altura en el perfil de árbol, hubo mayor acumulación de frío, con una diferencia al final del invierno de hasta 294 UF entre 0.2 y 3.5 m (Figura 2).

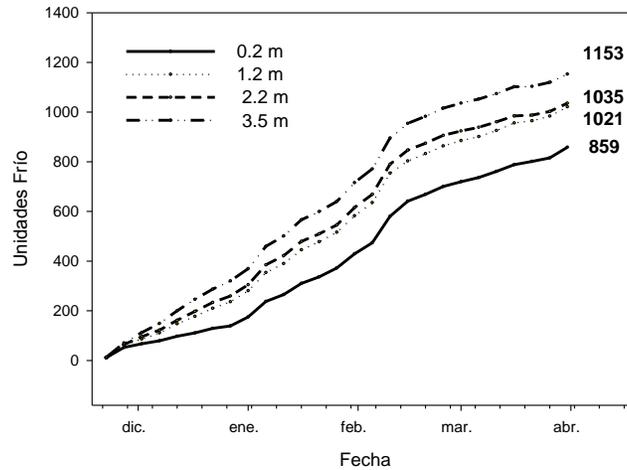


Figura 2. Unidades frío acumuladas a diferentes alturas del perfil del árbol de duraznero, del 17 de noviembre de 2011 al 31 de marzo de 2012.

La temperatura del aire, durante el día, se incrementó en la medida que disminuyó la altura del árbol; la temperatura más alta ocurrió a 0.2 m y la más baja a 3.5 m (Figura 3). Las temperaturas altas durante el día tuvieron un efecto negativo en la acumulación de frío; por esta razón los estratos más altos tuvieron una acumulación mayor de UF que los bajos. Aunque hay evidencias del efecto negativo de las altas temperaturas en la acumulación de UF (Richardson *et al.*, 1974; Miranda *et al.*, 2013; Luedeling *et al.*, 2013), pero no hay suficiente información de la acumulación de UF a través del perfil de los árboles frutales.

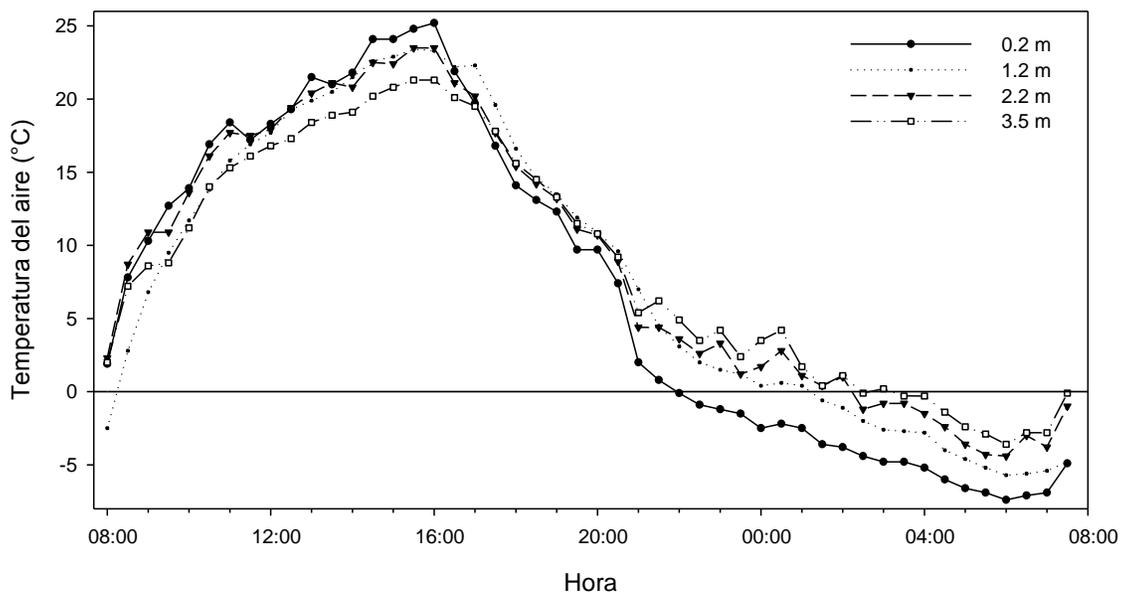


Figura 3. Temperatura del aire durante 24 h (29-30 de noviembre de 2011) en diferentes alturas mostrando la inversión térmica.

La inversión de temperatura en la noche y madrugada en una helada típica de radiación, fue opuesta a la tendencia de las temperaturas del aire durante el día; este es un fenómeno típico de las temperaturas del aire medidas a las alturas indicadas en días con helada por radiación. El estrato medio inferior presentó temperaturas más bajas que el estrato medio superior (Figura 3). Se observaron diferencias hasta de 6.4 °C a las 00:30 h del 30 de noviembre de 2011, -2.2 °C en el estrato más bajo (0.20 m) y 4.2 °C en el más alto (3.5 m).

En el periodo de evaluación, 17 de noviembre de 2011 al 30 de marzo de 2012, se presentaron cinco heladas intensas de radiación, entre -2.1 y -8.1°C, del 29 de noviembre al 03 de diciembre de 2011; cuatro de intensidad intermedia, -1.1 a -2.0 °C, en el periodo del 11 al 19 de diciembre de 2011; seis de baja intensidad, 0.0 a -1.0°C, entre el 12 de diciembre de 2011 y el 12 de enero de 2012; y en 22 ocasiones la temperatura bajó sin llegar a 0 °C, entre el periodo del 25 de noviembre de 2011 al 21 de marzo de 2012. La clasificación de las heladas se llevó a cabo con base en las temperaturas del estrato más bajo (0.2 m).

Las heladas más intensas se presentaron en el periodo en que aún no iniciaba la floración de las variedades precoces, por lo que no provocaron daños a las flores. Las yemas florales en letargo de duraznero aún no presentan la conexión vascular entre el pedúnculo y el primordio floral (Capítulo I), característica que les confiere la capacidad de sobre-enfriamiento y resistencia a las heladas (Ashworth, 1984).

Temperatura de las estructuras vegetales

Durante la noche y madrugada se observó un gradiente de temperatura a través del árbol, en el estrato medio inferior las temperaturas de las estructuras vegetales fueron más bajas que en el estrato medio superior; además su temperatura fue más baja que la del aire, como habían observado Lu *et al.* (1992) en duraznero, Leuning y Cremer (1987) en eucalipto (*Eucalyptus pauciflora* y *E. viminalis*), Barrales *et al.* (2002) en haba (*Vicia faba* L.) y Winkel *et al.* (2009) en quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). La variedad precoz 'Puebla' con follaje tuvo temperaturas promedio de los estratos en la hoja, fruto y tallo de 1.7 °C menor que la del aire, entre las 5:00 y 7:15 h, con temperaturas frescas del aire de 9-10 °C. Mientras que en 'CP Precoz' sin follaje, la temperatura de la flor y el tallo fue 3.0 °C menor que la del aire (Figura 4A). Se ha observado un comportamiento similar en quinoa (Winkel *et al.*; 2009), lo cual puede a que la emisividad de los órganos es mayor que la emisividad del aire, lo que influye en las tasas de enfriamiento de todo el

sistema (Barrales *et al.*, 2002; Lhomme y Vacher, 2002). Este comportamiento se acentuó cuando las temperaturas del aire fueron más frías (cercasas a 0 °C); así, 'Puebla' con follaje tuvo una temperatura promedio en las estructuras vegetales 2.6 °C menor a la del aire y 'Zacatecas' sin follaje, la temperatura de la flor y el tallo fue 3.4 °C menor que la del aire (Figura 4B). A medida que la temperatura del aire disminuyó, la de las estructuras del árbol se volvió más negativa y en los árboles con follaje, la temperatura se redujo en menos grados que los que no tienen. La radiación de onda larga emitida por las estructuras del árbol, es mayor que la del aire, lo que resulta en su enfriamiento mayor (Rosenberg *et al.*, 1983; Leuning, 1988; Lhomme *et al.*, 2007).

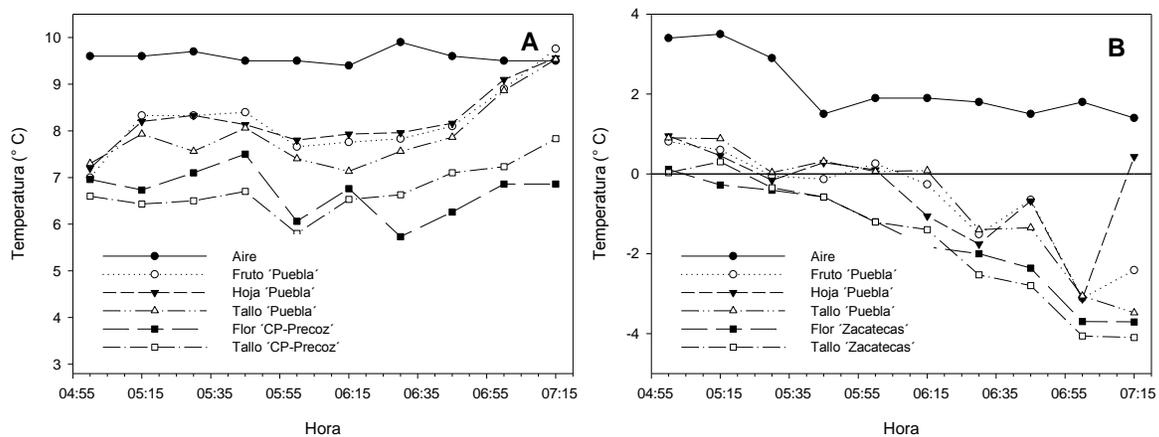


Figura 4. (A) Temperatura de las estructuras vegetales a 2.2 m de altura de 'Puebla' con follaje y de 'CP-Precoz' sin follaje a temperatura del aire entre 9-10 °C y (B) de 'Puebla' con follaje y de 'Zacatecas' sin follaje, a temperatura del aire cercana a 0 °C; a 2.2 m de altura el 04 y 14 de marzo de 2012, respectivamente.

Floración y amarre de fruto de durazneros uni-varietales

Densidad de yemas. En los durazneros uni-varietales tardíos, el número de yemas por metro lineal de ramilla mixta dependió de la interacción variedad y estrato del árbol, mientras que en los precoces, de la variedad, del estrato del árbol y de la interacción fertilizante NPK y pollinaza. La densidad de yemas de 'Supremo' y 'Zacatecas' fue menor en el estrato medio inferior del árbol y se incrementó en el superior (Cuadro 2), con un efecto mayor en 'Supremo' que en 'Zacatecas' (Figura 5A). Las variedades precoces, 'CP-Precoz' y 'Puebla', también presentaron mayor densidad de yemas en el estrato medio superior que el inferior y 'Puebla' presentó una mayor densidad de yemas que 'CP-Precoz' (Cuadro 3). En ambas variedades precoces, la fórmula baja de NPK (60-15-60 kg árbol-año⁻¹) y sin pollinaza aumentó la densidad de yemas que con la fórmula 90-30-90 kg árbol-año⁻¹; pero cuando se aplicó tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹ y la

fórmula baja de NPK, la densidad de yemas se abatió y fue mejorada con la fórmula alta de NPK (Figura 5B). Esto implica que con la dosis baja de NPK y sin pollinaza se obtuvieron densidades de yemas similares que con la dosis alta de NPK y pollinaza.

Cuadro 2. Ecuaciones de regresión para floración y amarre de fruto de durazneros uni-varietales tardíos, que describen el efecto del estrato del árbol (E), variedad tardía (Vt), variedad precoz alternada (Vpa), fertilizante NPK (F) y pollinaza (P).

Variable	Ecuación de regresión	R ²
Densidad de yemas (yemas mL ⁻¹) =	65.07188 + 9.9093E - 5.2093Vt - 4.4343EVt	0.541
Apertura floral (%) =	30.4593 - 23.6093Vt + 2.5968EVt - 3.3281VtVpa - 2.9906VpaF	0.949
Densidad floral (flores mL ⁻¹) =	20.80938 + 3.45938E - 16.55938Vt - 2.68438VtVpa	0.878
Inicio de la floración (días julianos) =	410.29594 + 23.91656Vt	0.925
Floración plena (días julianos) =	426.86719 + 20.62469Vt	0.926
Final de la floración (días julianos) =	434.0 + 19.0Vt - 3.25VtVpa	0.904
Amarre de fruto (%) =	12.86563 + 5.46563E - 9.49063Vt - 2.94063Vpa - 2.62813EVpa	0.784

E= medio inferior y medio superior. Vt= 'Supremo' y 'Zacatecas'. Vpa= 'CP-Precoz' y 'Puebla'. F= 60-15-60 y 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹. P= cero y tres kg árbol-año⁻¹. Para conocer el efecto de un factor determinado en la variable de respuesta, este toma el valor de uno en la ecuación y el resto de factores el valor de cero.

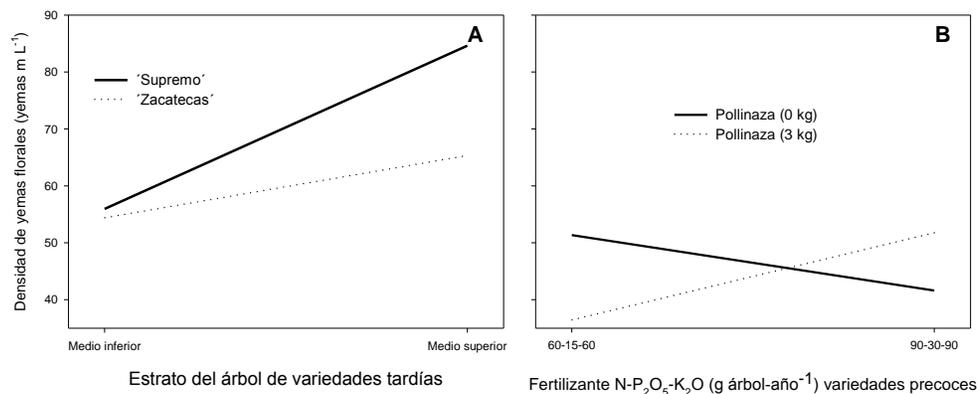


Figura 5. Efecto de las interacciones (A) estrato y variedad tardía y (B) fertilizante N-P₂O₅-K₂O y pollinaza, en la densidad de yemas florales en las variedades precoces de duraznero.

El estrato medio superior al recibir mayor radiación fotosintéticamente activa y mejor calidad de luz incrementan la síntesis de fotosintetizados (He *et al.*, 2008; Bastías y Corelli-Grappadelli, 2012; Gullo *et al.*, 2014; Marsal *et al.*, 2014), citocininas (Bernier *et al.*, 1993; Bernier, 2005) y proteínas (Zeevaart, 2008) que estimulan la diferenciación floral. En cambio se ha encontrado que las hojas que reciben menor radiación solar, tienen una mayor concentración de giberelinas que inhiben la diferenciación floral (González-Rossia *et al.*, 2007; Sharp *et al.*, 2010), como pudo haber ocurrido en el estrato medio inferior de los árboles de duraznero. La densidad floral depende principalmente del genotipo, se han reportado valores desde 50 a 120 yemas por metro lineal y está relacionada directamente con la producción final de fruto (Pérez, 2004). El incremento por efecto del estrato, en promedio, 2.59 % más en el estrato medio superior que el inferior, tiene implicaciones agronómicas importantes en regiones de cultivo con presencia de heladas, ya que se reduce la exposición a las bajas temperaturas.

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión para floración y amarre de fruto de durazneros uni-varietales precoces, que describen el efecto del estrato del árbol (E), variedad tardía alternada (Vta), variedad precoz (Vp), fertilizante NPK (F) y pollinaza (P).

Variable	Ecuación de regresión	R ²
Densidad de yemas (yemas mL ⁻¹) =	45.29375 + 5.13125E + 22.75625Vp + 6.26250FP	0.827
Apertura floral (%) =	29.55000 + 4.76250Vta - 3.85625VpP	0.262
Densidad floral (flores mL ⁻¹) =	14.34063 + 2.52188Vta + 7.09688Vp	0.631
Inicio de la floración (días julianos) =	382.28688 + 2.56687E - 22.51313Vp	0.938
Floración plena (días julianos) =	398.14875 - 18.38062Vp	0.912
Final de la floración (días julianos) =	407.01250 + 3.26250E - 17.26250Vp	0.854
Amarre de fruto (%) =	8.26562 + 4.34062E + 2.82813Vta	0.372

E= medio inferior y medio superior. Vt= 'Supremo' y 'Zacatecas'. Vpa= 'CP-Precoz' y 'Puebla'. F= 60-15-60 y 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹. P= cero y tres kg árbol-año⁻¹. Para conocer el efecto de un factor determinado en la variable de respuesta, este toma el valor de uno en la ecuación y el resto de factores el valor de cero.

Apertura floral. En los durazneros uni-varietales tardíos, el porcentaje de apertura floral de la ramilla mixta dependió de las interacciones: variedad y variedad precoz alternada, y variedad

precoz alternada y fertilizante NPK; mientras que en los uni-varietales precoces dependió de la variedad tardía alternada y de la interacción variedad y pollinaza (Cuadro 2). La apertura floral de 'Supremo' fue mayor (21.28 %) al alternarse con 'Puebla' que con 'CP-Precoz' (Figura 6A) con la fórmula baja de NPK, 60-15-60 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹; pero con la fórmula alta de NPK, 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹, se abatió en un 13.5 % (Figura 6A). Mientras 'Zacatecas' al alternarse con 'Puebla' tuvo un efecto depresivo en la apertura que con 'CP-Precoz' y con ambas fórmulas de fertilización, sobre todo con la baja (Figura 6A).

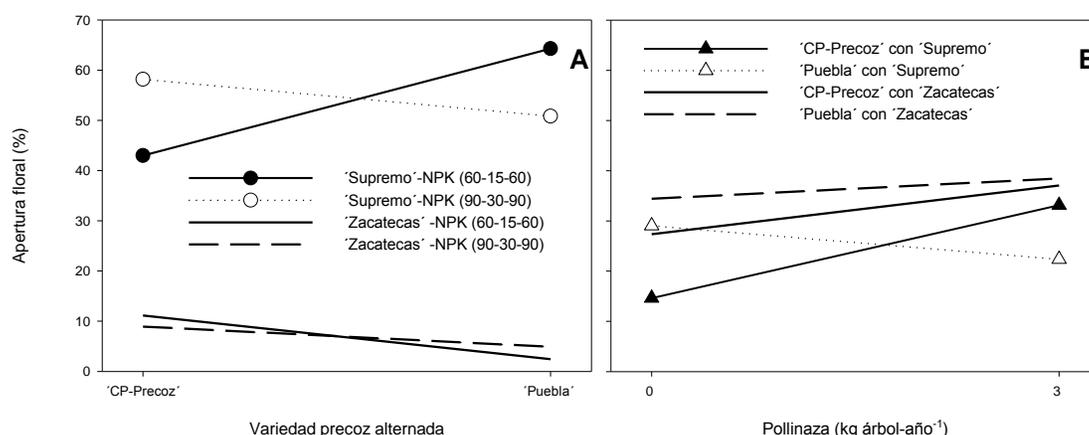


Figura 6. Efecto de las interacciones (A) variedad precoz alternada y fertilizante N-P₂O₅-K₂O en las variedades tardías y (B) pollinaza y variedad tardía en las variedades precoces, sobre el porcentaje de apertura floral de duraznero.

La apertura floral de 'CP-Precoz' se incrementó con la aplicación de tres kg de pollina árbol-año⁻¹, tanto al alternarse con 'Supremo' como con 'Zacatecas' (18.5 y 9.7 %, respectivamente). 'Puebla' tuvo un incremento del 4 % al alternarse con 'Zacatecas' y con la aplicación de tres kg de pollina árbol-año⁻¹ que sin pollinaza; sin embargo, abatió su apertura en un 6.7 % cuando se alternó con 'Supremo' y con la dosis alta de pollinaza (Figura 6B). Cada variedad tiene una respuesta específica cuando se alterna con otra variedad o a la fertilización de NPK y pollinaza.

Densidad floral. En los durazneros uni-varietales tardíos, el número de yemas florales por metro lineal de ramilla mixta dependió del estrato, la variedad y de la interacción entre variedad y variedad precoz alternada; en cambio en los durazneros uni-varietales precoces dependió únicamente de la variedad y la variedad precoz alternada (Cuadro 2). No obstante que 'Supremo' tuvo 16.5 flores mL⁻¹ más que 'Zacatecas', la densidad floral fue mayor en el estrato medio

superior que en el medio inferior ($3.5 \text{ flores mL}^{-1}$) en ambos cultivares; y se incrementó en 'Supremo' al alternarse con 'Puebla' que con 'CP-Precoz' ($6.34 \text{ flores mL}^{-1}$), pero se abatió en 'Zacatecas' ($4.5 \text{ flores mL}^{-1}$) al alternarse con 'Puebla' que con 'CP-Precoz' (Figura 7). Por su parte, 'Puebla' tuvo $7.9 \text{ flores mL}^{-1}$ más que 'CP-Precoz', y la densidad floral se incrementó $2.5 \text{ flores mL}^{-1}$ en promedio para ambas variedades cuando se alternaron con 'Zacatecas' que con 'Supremo' (Cuadro 3).

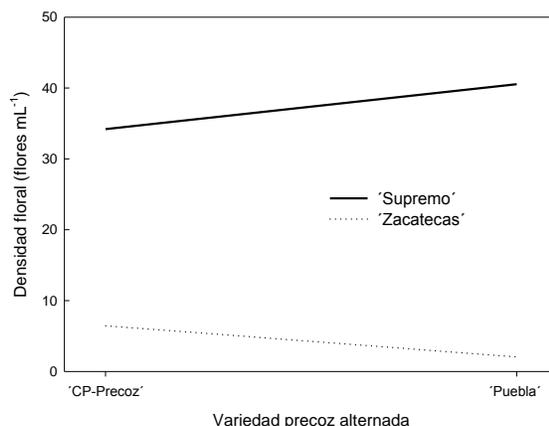


Figura 7. Efecto de la interacción variedad tardía y variedad precoz alternada, sobre la densidad floral en los durazneros uni-varietales tardíos.

Para cada variedad hay una respuesta específica al alternarse con otra y dependerá también de la fertilización, esta forma de cultivo genera competencia por nutrientes, humedad y radiación entre los árboles que demerita la apertura y la densidad floral (Smith *et al.*, 1989; Smith, 1991; Elloumi *et al.*, 2014).

Las variedades tardías que requieren de una mayor cantidad de frío que las precoces, respondieron al efecto del estrato del árbol. El gradiente ascendente de frío acumulado con la altura del dosel de los durazneros (Figura 2), estuvo directamente relacionado con el número de flores por metro lineal. El suministro adecuado de frío en duraznero, favorece el proceso normal de morfogénesis de los meristemos florales en cambio, deficiencias de frío les provoca malformaciones (Nava *et al.*, 2009), como ocurrió en 'Zacatecas' que presentó granos de polen abortados y malformados (Capítulo I); y deficiencias en la apertura floral (Bonhomme *et al.*, 2005; Okie y Blackburn, 2011).

Cuando hay daños a las flores por heladas, el interés agronómico se enfoca en incrementar el porcentaje de apertura floral y la densidad de flores; los incrementos mostrados en apertura y

densidad floral para cada variedad pueden significar un incremento sustancial en la producción final de fruto.

Periodo de floración. En los durazneros uni-varietales tardíos, los días al inicio de la floración, la floración plena y el final de la floración dependieron principalmente de la variedad, y el final de la floración fue influida por la interacción variedad y variedad precoz alternada; mientras en los cultivares precoces dependieron del estrato del árbol y de la variedad misma. 'Zacatecas' fue más tardía (en promedio 22 días) en todo el periodo de floración que 'Supremo' (Cuadro 2), pero el final de la floración se adelantó 10 días cuando se alternó con 'Puebla' que con 'CP-Precoz' (Figura 8); quizá por la situación de agobio generada por la competencia entre las variedades (Smith, 1991; Reig *et al.*, 2013). En cambio, 'Supremo' tuvo un ligero retraso (3 días) en el final de la floración cuando se alternó con 'Puebla' que con 'CP-Precoz'. A pesar que 'Puebla' fue más precoz que 'CP-Precoz' (en promedio 20 días), en el periodo de floración, el inicio y final de la floración se retrasaron en el estrato medio superior respecto al bajo (2.6 y 3.3 días, respectivamente) para ambas variedades (Cuadro 3), esta respuesta pudo deberse al fenotipo y al patrón acrópeto de la floración (Pérez, 2004).

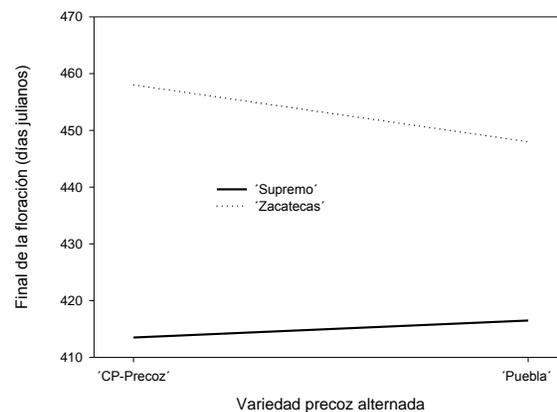


Figura 8. Efecto de la interacción variedad y variedad precoz alternada, sobre el final del periodo de floración de durazneros uni-varietales tardíos.

Amarre de fruto. En los durazneros uni-varietales tardíos, el porcentaje de amarre de fruto dependió del estrato del árbol, de la variedad misma, de la variedad precoz alternada y de la interacción entre estas dos (Cuadro 2); en cambio los durazneros uni-varietales precoces solo dependieron del estrato y la variedad (Cuadro 3). 'Supremo' tuvo un mayor porcentaje de amarre

de fruto que 'Zacatecas' (en promedio 9.5), aun así, en ambas variedades, el amarre de fruto se incrementó 5.5% en el estrato medio superior con relación al medio inferior; pero este disminuyó en el mismo porcentaje cuando las variedades tardías se alternaron con 'Puebla' que con 'CP-Precoz' (Figura 9). 'Puebla' y 'CP-Precoz' tuvieron un mayor amarre de fruto en el estrato medio superior del árbol que el medio inferior (4.3%), y se incrementó aún más cuando se alternaron con 'Zacatecas' que con 'Supremo' (2.8 %).

El incremento del amarre de fruto en el estrato medio superior, estuvo estrechamente relacionado con la mayor densidad floral; amarre de fruto y densidad floral se ven favorecidos por la calidad y densidad de flujo (Okie y Blackburn, 2011), aunque este fue en detrimento por la competencia de las variedades alternadas.

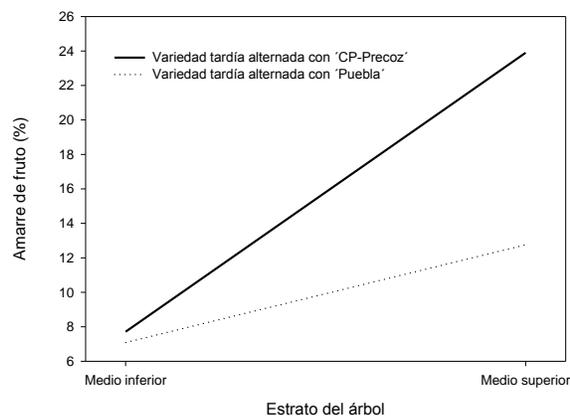


Figura 9. Efecto de la interacción estrato del árbol y variedad precoz alternada, sobre el amarre de fruto en durazneros uni-varietales tardíos.

Floración y amarre de fruto de durazneros bi-varietales

En los árboles bi-varietales las variedades tardías, 'Supremo' y 'Zacatecas', no fueron afectadas por las variedades precoces que se les injertó, lo cual pudo deberse a periodos diferentes de diferenciación floral, floración y amarre de fruto y que evitó competencia entre la variedad tardía y precoz en el mismo árbol. En contraste, las variedades precoces, 'CP-Precoz' y 'Puebla', la densidad de yemas florales y el periodo de floración fueron afectados por las variedades en las cuales estaban injertadas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Ecuaciones de regresión para floración y amarre de fruto de la variedad precoz de durazneros bi-varietales, que describen el efecto de la variedad tardía como inter-injerto (Vtii), variedad precoz (Vp), fertilización (F) y pollinaza (P).

Variable	Ecuación de regresión	R ²
Densidad de yemas (yemas mL ⁻¹) =	53.66875 + 27.14375Vp + 4.96875VtiiP	0.944
Densidad floral (flores mL ⁻¹) =	21.94375 + 12.05625Vp	0.819
Inicio de la floración (días julianos) =	385.74875 - 16.36Vp - 4.9VtiiVp	0.889
Floración plena (días julianos) =	403.865 - 15.42Vp - 4.28875VtiiVp	0.925
Final de la floración (días julianos) =	419.75 - 10.75Vp - 5.25VtiiVp	0.698
Amarre de fruto (%) =	12.17188 + 5.83313Vp	0.371

Vtii= 'Supremo' y 'Zacatecas'. Vp= 'CP-Precoz' y 'Puebla'. F= 60-15-60 y 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹. P= cero y tres kg árbol-año⁻¹. Para conocer el efecto de un factor determinado en la variable de respuesta, este toma el valor de uno en la ecuación y el resto de factores el valor de cero.

Densidad de yemas. En las variedades precoces de los durazneros bi-varietales, en el estrato medio superior, el número de yemas por metro lineal de ramilla mixta dependió de la variedad y de la interacción entre variedad tardía como inter-injerto (Cuadro 4). 'Puebla' tuvo en promedio 27.1 yemas mL⁻¹ más que 'CP-Precoz'. Ambos cultivares, sin pollinaza e injertados en 'Supremo' tuvieron una densidad de yemas más alta (13.4 yemas más mL⁻¹) que cuando se injertaron en 'Zacatecas'; y con tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹, la densidad de yemas se incrementó de 49.4 a 55.9 yemas mL⁻¹ cuando fueron injertados en 'Zacatecas' que en 'Supremo', pero sin alcanzar las 61.4 yemas mL⁻¹ cuando fueron injertados con 'Supremo' y sin pollinaza (Figura 10). 'Supremo' como inter-injerto al parecer favoreció una mejor distribución de la biomasa (Gullo *et al.*, 2014), evitando la competencia entre el crecimiento vegetativo y la diferenciación floral en las variedades precoces (Chalmers *et al.*, 1981; Aloni *et al.*, 2010). Este efecto puede ser mejorado con una fertilización adecuada para cada variedad (Nario *et al.*, 2003).

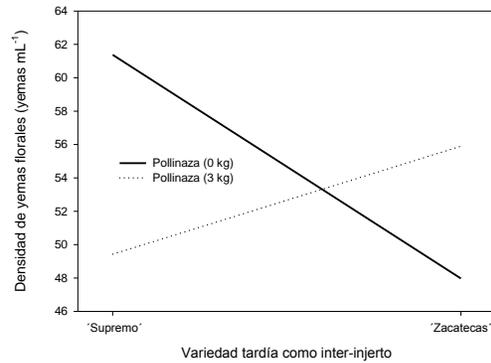


Figura 10. Efecto de la interacción variedad tardía como inter-injerto y pollinaza, sobre la densidad de yemas de los cultivares precoces en los durazneros bi-varietales.

Periodo de floración. En las variedades precoces de los durazneros bi-varietales, la fecha de floración fue afectada por la variedad y por la interacción entre variedad tardía como inter-injerto y variedad. A pesar que 'Puebla' fue más precoz que 'CP-Precoz' (Cuadro 4), atrasó el inicio y la plena floración cuando se injertó en 'Supremo' que en 'Zacatecas' (15.7 y 9.7 días, respectivamente); en cambio 'CP-Precoz' los atrasó en menor grado 3.8 y 7.6 días, respectivamente, cuando se injertó en 'Zacatecas' que en 'Supremo' (Figura 11A y B). La interacción de las variedades comerciales con los inter-injertos o injertos puede modificar el periodo de floración (Carrera y Gomez-Aparasi, 1998; Fonseca *et al.*, 2010; Malcom *et al.*, 2014). El retraso del periodo de floración de 'Puebla' significó evadir 5 heladas no severas al inicio de la floración y 3 en floración plena, en el periodo de retraso para 'CP-Precoz' no ocurrieron heladas. Aunque las heladas que ocurrieron en este periodo crítico no causaron daños, el retraso de la floración puede significar el salvamento de la producción de fruto con la ocurrencia de heladas más severas.

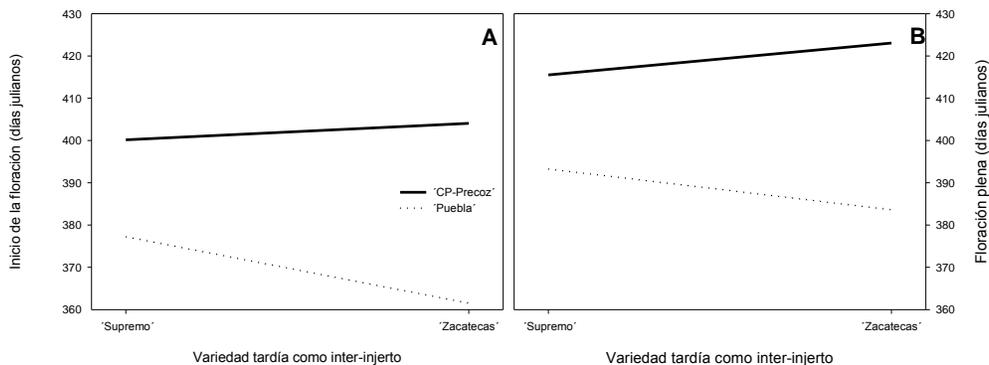


Figura 11. Efecto de la interacción variedad tardía como inter-injerto y variedad, sobre el inicio (A) y plena (B) floración de las variedades precoces de durazneros bi-varietales.

Efecto de la composición varietal del árbol en la floración y amarre de fruto de variedades tardías

Floración. En las variedades tardías no hubo diferencias en la densidad de yemas, apertura floral, densidad floral, inicio y plena floración por efecto de la composición varietal del árbol; pero si en el final de la floración y amarre de fruto (Cuadro 5). A pesar que ‘Supremo’ es menos tardío que ‘Zacatecas’ el final de la floración se retrasó en promedio 8 días en los durazneros bi-varietales que en los uni-varietales, con un efecto mayor con la fórmula alta 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹, 12 días. La respuesta de ‘Zacatecas’ fue variable, con la fórmula baja de N-P₂O₅-K₂O, 60-15-60, el final de la floración se adelantó 4 días en los árboles bi-varietales con relación a los uni-varietales, y con la alta se retrasó 8 días, pero solo superando por un día con relación a la fórmula baja de NPK (Figura 12). Aunque el retraso del final de la floración en ‘Supremo’ y ‘Zacatecas’ no evadió alguna helada, pero si en este periodo ocurriera alguna helada severa puede significar el logro o la pérdida de la producción de fruto.

Cuadro 5. Ecuaciones de regresión para floración y amarre de fruto de durazneros tardíos, que describen el efecto de la composición varietal del árbol (Cva), variedad tardía (Vt), variedad precoz (Vp), fertilizante NPK (F) y pollinaza (P).

Variable	Ecuación de regresión	R ²
Apertura floral (%) =	32.33125 -24.64375Vt - 2.93750VpF	0.919
Densidad floral (flores mL ⁻¹) =	18.17188 -13.97813Vt	0.837
Inicio de la floración (días julianos) =	409.16594 + 22.14344Vt	0.877
Floración plena (días julianos) =	427.41156 + 20.33344Vt	0.934
Final de la floración (días julianos) =	435.25 - 2.5Cva + 18.25Vt - 2.5CvaF - 2.75VtF	0.918
Amarre de fruto (%) =	9.15188 - 1.75188Cva - 8.2825Vt	0.772

Cva= bi-varietal y uni-varietal. Vt= ‘Supremo’ y ‘Zacatecas’. Vpa= ‘CP-Precoz’ y ‘Puebla’. F= 60-15-60 y 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹. P= cero y tres kg árbol-año⁻¹. Para conocer el efecto de un factor determinado en la variable de respuesta, este toma el valor de uno en la ecuación y el resto de factores el valor de cero.

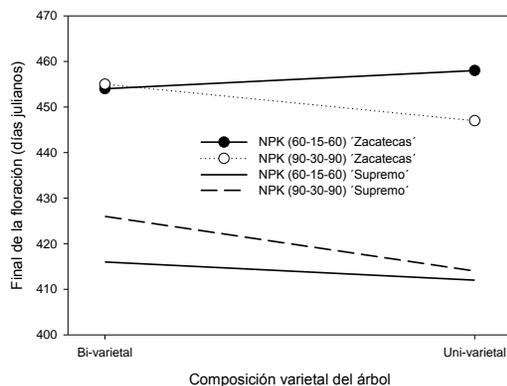


Figura 12. Efecto de la interacción composición varietal del árbol y fertilizante NPK, en la fecha del final de la floración de las variedades tardías.

Amarre de fruto. A pesar que 'Supremo' tuvo 8.3% más amarre de fruto que 'Zacatecas', ambas variedades lo incrementaron 1.8 % en promedio en los durazneros tardíos bi-varietales que los uni-varietales (Cuadro 5).

Efecto de la composición varietal del árbol en la floración y amarre de fruto de variedades precoces

Floración. En las variedades precoces no hubo diferencias en la densidad de yemas, pero si en la apertura, densidad floral y periodo de floración por efecto de la composición varietal del árbol (Cuadro 6). Con 'Supremo' las variedades precoces tuvieron en promedio 15.3 % más flores abiertas en los árboles bi-varietales que en los uni-varietales; mientras que con 'Zacatecas' la apertura floral de las variedades precoces fue 3.8 % mayor en los durazneros uni-varietales (Figura 13A). Además, 'CP-Precoz' incrementó 10.9 % su apertura floral con tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹, pero en 'Puebla' está dosis de pollinaza tuvo un efecto depresivo en la apertura floral, 3.8 % menos (Figura 13B).

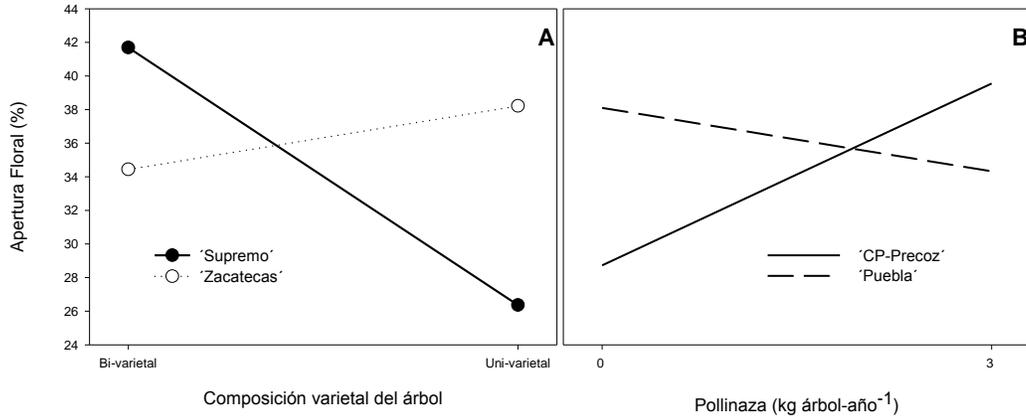


Figura 13. Efecto de las interacciones (A) composición varietal del árbol y variedad tardía y (B) pollinaza y variedad precoz, sobre la apertura floral de las variedades precoces de duraznero.

Cuadro 6. Ecuaciones de regresión para floración y amarre de fruto de durazneros precoces, que describen el efecto de la composición varietal del árbol (Cva), variedad tardía (Vt), variedad precoz (Vp), fertilizante NPK (F) y pollinaza (P).

Variable	Ecuación de regresión	R ²
Densidad de yemas (yemas mL ⁻¹) =	52.04688 + 25.61563Vp	0.837
Apertura floral (%) =	35.175 + 4.775CvaVt - 3.65VpP	0.337
Densidad floral (flores mL ⁻¹) =	19.13750 - 2.80625Cva + 9.56250Vp + 3.15625CvaVt - 2.49375CvaVp	0.795
Inicio de la floración (días julianos) =	385.30125 - 19.54687Vp - 3.18688CvaVp - 2.46312VtVp	0.911
Floración plena (días julianos) =	401.72906 - 16.76281Vp - 2.49719VtVp	0.879
Final de la floración (días julianos) =	415.0125 - 4.7375Cva - 14.0125Vp - 3.2625CvaVp - 4.2375VtVp	0.793
Amarre de fruto (%) =	12.38906 + 3.53844Vp + 3.19719CvaVt	0.277

Cva= bi-varietal y uni-varietal. Vt= 'Supremo' y 'Zacatecas'. Vpa= 'CP-Precoz' y 'Puebla'. F= 60-15-60 y 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹. P= cero y tres kg árbol-año⁻¹. Para conocer el efecto de un factor determinado en la variable de respuesta, este toma el valor de uno en la ecuación y el resto de factores el valor de cero.

'Puebla' tuvo en promedio 9.6 flores mL⁻¹ más que 'CP-Precoz' (Cuadro 6), injertado sobre 'Supremo' (composición bi-varietal) tuvo 20 flores mL⁻¹ más que de forma alternada (composición uni-varietal); injertado sobre 'Zacatecas' también tuvo una flor mL⁻¹ más que

alternado, pero $6.6 \text{ flores mL}^{-1}$ menos que injertado en 'Supremo'. 'CP-Precoz' tuvo la mayor densidad floral ($11.6 \text{ flores mL}^{-1}$) cuando se alternó a 'Zacatecas', injertado en 'Supremo' la densidad floral fue mayor ($3.6 \text{ flores mL}^{-1}$ más) que alternado a él (Figura 14).

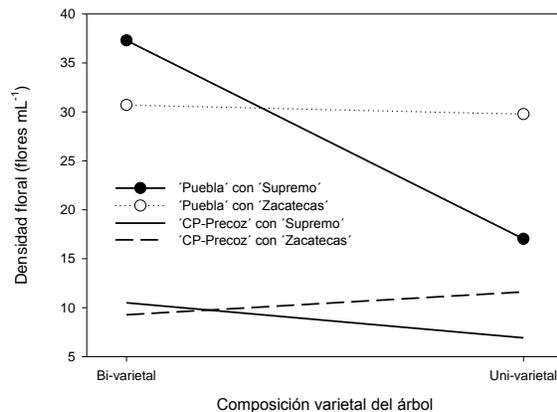


Figura 14. Efecto de la interacción composición varietal del árbol y variedad tardía, sobre la densidad floral de variedades precoces de duraznero.

En los durazneros bi-varietales 'Puebla' injertado sobre 'Supremo' retrasó 16 días el inicio (Figura 15A) y 22 el final (Figura 15B) de la floración en comparación a los uni-varietales, injertado en 'Zacatecas' no modificó la fecha de inicio de floración, pero sí retrasó 10 días el final de la floración, aunque 14 días menos que con 'Supremo'. En cambio 'CP-Precoz' alternado con 'Zacatecas' el inicio de la floración fue retrasado 4.4 días en los árboles uni-varietales respecto a los bi-varietales (Figura 15A), pero esta respuesta se invirtió en la fecha del final de la floración, hubo un retraso de un día en los árboles bi-varietales en relación a los uni-varietales. El comportamiento del inicio y final de la floración fue similar cuando 'CP-Precoz' se injertó en 'Supremo' pero en menor grado (Figura 15 A-B). En 'Puebla' el retraso del inicio y final de la floración implicó la evasión de cinco y una heladas no severas, respectivamente.

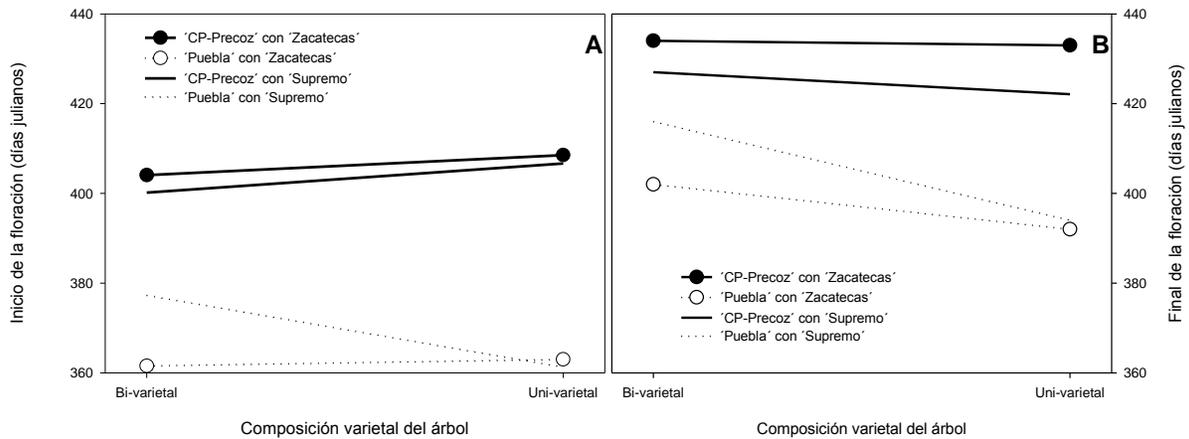


Figura 15. Efecto de la interacción composición varietal del árbol y variedad tardía, en el inicio (A) y final (B) de la floración de las variedades precoces de duraznero.

Amarre de fruto. 'Puebla' injertado sobre 'Supremo' en la composición bi-varietal, duplicó el amarre de fruto que alternado en la uni-varietal, 16.4 y 7.9 %, respectivamente; aunque fue en promedio 3.4 % mayor ya sea injertado o alternado con 'Zacatecas'. 'CP-Precoz' injertado sobre 'Supremo' también incrementó 3.4 % el amarre de fruto que de forma alternada; sin embargo, cuando se injertó sobre 'Zacatecas' se abatió de 14.2 a 0.8 % (Figura 16). Scarpore *et al.* (2000) mencionan que los inter-injertos pueden incrementar o reducir el amarre de fruto.

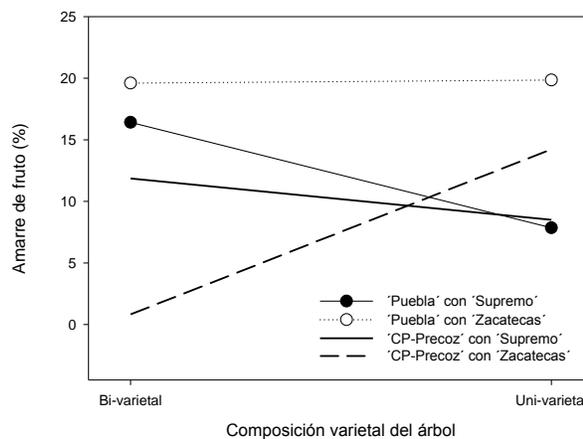


Figura 16. Efecto de la interacción composición varietal del árbol y variedad tardía, sobre el porcentaje de amarre de fruto de variedades precoces de duraznero.

CONCLUSIONES

Existió un gradiente ascendente de acumulación de unidades frío del estrato medio inferior al medio superior del árbol, lo cual dio lugar a una mayor apertura y densidad floral en el estrato medio superior del árbol que el medio inferior de las variedades tardías, 2.6 % y 3.5 flores mL⁻¹, respectivamente. La inversión térmica en las noches a través del perfil del árbol, fue mayor en los árboles con follaje que sin follaje, esta condición se hizo más aguda a temperaturas más frías. Las heladas presentes en el invierno 2011-2012, no provocaron daños a los tejidos vegetales.

En los durazneros uni-varietales tardíos, 'Supremo' y 'Zacatecas', el estrato medio superior del árbol tuvo mayor densidad de yemas, apertura floral, densidad floral y amarre de fruto que el medio inferior. Estas variables disminuyeron cuando fueron alternados con 'Puebla', y con la fórmula 90-30-90 g de N- P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹ se abatió aún más la apertura floral; además se adelantó el periodo de floración. En los durazneros uni-varietales precoces, 'CP-Precoz' y 'Puebla', el estrato medio superior del árbol tuvo mayor densidad de yemas, y el periodo de floración de yemas se atrasó respecto al medio inferior. Los durazneros uni-varietales precoces incrementaron la densidad de yemas y el porcentaje de apertura floral fue mayor con la fertilización alta de NPK y con pollinaza (tres kg árbol-año⁻¹).

En los durazneros bi-varietales, las variedades tardías no fueron afectadas por las variedades precoces que se les injertó, en cambio, las variedades precoces si fueron afectadas por las variedades tardías como inter-injerto. 'Supremo' incrementó la densidad de yemas florales de las variedades precoces, retrasó el periodo de floración de 'Puebla' pero adelantó el de 'CP-Precoz'. En cambio 'Zacatecas' como inter-injerto tuvo un efecto depresivo en la densidad floral que pudo ser revertido con fertilización de pollinaza; retrasó el periodo de floración de CP-Precoz, pero adelantó el de 'Puebla'.

La composición bi-varietal del duraznero en comparación de la uni-varietal, en las variedades tardías retrasó 8 días el final de floración de 'Supremo', con un efecto mayor con la fórmula alta de NPK (12 días), e incrementó en 1.8 % el amarre de fruto de 'Supremo' y 'Zacatecas'. Además, en las variedades precoces al estar injertadas en 'Supremo', la apertura floral se incrementó 15.3 % con un efecto mayor en 'CP-Precoz' al aplicar pollinaza; en 'Puebla' retrasó 16 días el inicio de la floración; en 'Puebla' y CP-Precoz' retrasó 22 y cinco días, respetivamente el final de la floración, e incrementó el amarre de fruto en 'Puebla' y CP-Precoz', 8.5 y 3.4 %, respectivamente.

Aunque las heladas en los periodos de floración y amarre de fruto no provocaron daños debido a que no fueron severas, la estrategia de usar durazneros compuestos de una variedad precoz en el estrato medio superior injertada sobre una variedad tardía (composición bi-varietal) con una fertilización adecuada de NPK y pollinaza, retrasó la floración e incrementó el amarre de fruto en comparación con los durazneros precoces (composición uni-varietal) alternados con tardíos, puede ser una estrategia prometedora en evitar o disminuir los daños por heladas severas de radiación.

LITERATURA CITADA

- Aloni, B., R. Cohen, L. Karni, H. Aktas, and M. Edelstein. 2010. Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae* 127: 119-126.
- Ashworth, E.N. 1984. Xylem development in *Prunus* flower buds and the relationship to deep supercoiling. *Plant Physiology* 74: 862-865.
- Atkinson, C., Brennan R., and Jones H. 2013. Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. *Environmental and Experimental Botany* 91: 48-62.
- Barrales, D. J.S., Livera M. M. González H., Peña V. Kohashi-Shibata J. y Castillo G. F. 2002. Relaciones térmicas en el sistema suelo-planta-atmósfera durante la incidencia del fenómeno de enfriamiento o helada. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 289-297.
- Bastías, R. M. and Corelli-Grappadelli, L. 2012. Light quality management in fruit orchards: Physiological and technological aspects. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72: 224-231.
- Bernier, G., Havelange A., Houssa C., Petitjean A., and Lejeune, P. 1993. Physiological signals that induce flowering. *The Plant Cell* 5: 1147-1155.
- Bernier, G. 2005. The florigen quest: classical developments. *Flowering Newslett* 40:4–11.
- Bonhomme, M., Rageau R., Lacointe A. y Gendraud M. 2005. Influences of cold deprivation during dormancy on carbohydrate contents of vegetative and floral promordia and nearby structures of peach buds (*Prunus persica* L. Batch). *Scientia Horticulturae* 105: 223-240.
- Carrera, M. and Gomez-Aparasi J. 1998. Rootstock influence on the performance of the peach variety ‘Catherine’. *Acta Horticulturae* 465: 573-578.

- Chalmers, D. J., Mitchell, P. D., and Van Heek, L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106:307-312.
- Cortés, J.F., Turrent F.A., Díaz P.V., Hernández E.R., Mendoza R. y Aceves E. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. (SAGARPA, Ed.) México: Colegio de Postgraduados. <sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/03%20MILPA%20INTERCALADA%20CON%20FRUTALES.pdf> (Consultado 30 de junio de 2014)
- Elloumi, O., M. Ghrab, and M. B. Mimoun. 2014. Effects of flower buds removal on seasonal starch storage and mobilization in fruiting and non-fruiting branches of pistachio trees cv. Mateur under dry and warm climate. *Scientia Horticulturae* 172: 19-25.
- Fonseca, P. T. Z., C. S. Madruga L., M. Aldrighi G., L. Rufato, and A. De Rossi R. Crescimento vegetativo, floração e frutificação efetiva do pessegueiro 'Jubileu' submetido a diferentes comprimentos de interenxertos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 45: 973-979.
- Giorgi, M., F. Capocasa, J. Scalzo, G. Murri, M. Battino, and B. Mezzetti. 2005. The rootstock effects on plant adaptability, production, fruit quality, and nutrition in the peach (cv. 'Suncrest'). *Scientia Horticulturae* 107: 36-42.
- González-Rossia, D., C. Reig, M. Juan, and M. Agustí. 2007. Horticultural factors regulating effectiveness of GA3 inhibiting flowering in peaches and nectarines (*Prunus persica* L. Batsch). *Scientia Horticulturae* 111: 352-357.
- Govaerts B., Barrera-Franco M.G., Limón-Ortega A., Muñoz-Jiménez P., Sayre D.K. y Deckers J. 2008. Clasificación y evaluación edafológica de tres sitios experimentales del altiplano central de México. *TROPICULTURA* 26:2-9.
- Gullo, G., A. Motisi, R. Zappia, A. Dattola, J. Diamanti, and B. Mezzetti. 2014. Rootstock and fruit canopy position affect peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] (cv. Rich May) plant productivity and fruit sensorial and nutritional quality. *Food Chemistry* 153: 234-242.
- He F., Wang, F., Wei. Q.P., Wang, X.W., and Zhang, Q. 2008. Relationships between the distribution of relative canopy light intensity and the peach yield and quality. *Agricultural Sciences in China* 7: 297-302.
- Kemphome, O. 1979. *The design and analysis of experiments* . John Wiley & Sons. New York , N. Y., U.S.A., 631 p.

- Leuning, R., and Cremer K. W. 1987. Leaf temperatures during radiation frost Part I. Observations. *Agricultural and Forest Meteorology* 42: 121-133.
- Leuning, 1988. Leaf temperatures during radiation frost Part II. A steady state theory. *Agricultural and Forest Meteorology* 42: 135-155.
- Lhomme, J.P., J.J. Vacher, and A. Rocheteau. 2007. Estimating downward long-wave radiation on the Andean Altiplano. *Agricultural and Forest Meteorology* 145: 139-148.
- Lhomme, J.P, and J.J.Vacher. 2002. Modelling nocturnal heat dynamics and frost mitigation in Andean raised field systems. *Agricultural and Forest Meteorology* 112: 179-193.
- Luedeling, E., L. Guo, J. Dai, C. Leslie, and M. M. Blanke. 2013. Differential responses of trees to temperature variation during the chilling and forcing phases. *Agricultural and Forest Meteorology* 181: 33-42.
- Lu, S., Rieger, M., and Duemmel, M. J. 1992. Flower orientation influences ovary temperature during frost in peach. *Agricultural and Forest Meteorology* 60: 181-191.
- Malcolm, P.J., P. Holford, I. Barchia, and W.M. McGlasson. 2014. High and low root zone temperatures at bud-break reduce growth and influence dry matter partitioning in peach rootstocks. *Scientia Horticulturae* 171:83-90.
- Marsal, J., S. Johnson, J. Casadesus, G. Lopez, J. Girona, and C. Stöckle. Fraction of canopy intercepted radiation relates differently with crop coefficient depending on the season and the fruit tree species. *Agricultural and Forest Meteorology* 184: 1-11.
- Miranda, C., Santesteban, L. G., and Royo B., J. 2013. Evaluation and fitting of models for determining peach phenological stages at a regional scale. *Agricultural and Forest Meteorology* 178-179: 129-139.
- Nava, G., Dalmago G., Bergamaschi H., Paniz R., dos Santos R., and Marodin G. 2009. Effect of high temperatures in pre-blooming and blooming periods on ovulo formation, pollen grains and yield of 'Granada' peach. *Scientia Horticulturae* 122: 37-44.
- Nario, A., I. Pino, F. Zapata, M. P. Albornoz, and P. Baherle. 2003. Nitrogen (¹⁵N) fertiliser use efficiency in peach (*Prunus persica* L.) cv. Goldencrest trees in Chile. *Scientia Horticulturae* 97: 279-287.
- Okie, W. R., and Bryan, B. 2011. Interactive effects of light and chilling on peach flower and leaf budbreak. *HortScience* 46: 1056-1062.

- Pérez, S. 2004. Yield stability of peach germplasm differing in dormancy and blooming season in the Mexican subtropics. *Scientia Horticulturae* 100: 15-21.
- Reig, G., S. Alegre, F. Gatiús, and I. Iglesias. 2013. Agronomical performance under Mediterranean climatic conditions among peach [*Prunus persica* L. (Batsch)] cultivars originated from different breeding programmes. *Scientia Horticulturae* 150: 267-277.
- Richardson, E.A., S.D. Seeley, and D.R. Walker. 1974. A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortScience* 9:331-332.
- Rosenberg, N. J., B. L. Blad, and S. B. Verma. 1983. *Microclimate, the Biological Environment*. 2a Ed. John Wiley & Sons. USA. 495 p.
- Scarpare, F. J.A., R.A. Kluge, F.V. Filho, J.T. Neto, e A.P. Jacomino. 2000. Comportamento de duas cultivares de pessegueiro com interenxerto da maeixeira 'Junuária'. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 35: 757-765.
- Sharp, R.G., M.A. Else, W.J. Davies, and R.W. Cameron. 2010. Gibberellin-mediated suppression of floral initiation in the long-day plant *Rhododendron* cv. Hatsugiri. *Scientia Horticulturae* 124: 231-238.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Estacionalidad del durazno por año agrícola. www.siap.gob.mx/estacionalidad-por-ano-agricola (Consultado 07 julio 2014).
- Smith, M.W., G.G. Taylor, K. Karner, and G.A. Couvillon. 1989. Evaluation of pecan/peach interplanting systems. *Scientia Horticulturae* 40: 133-137.
- Smith, M.W. 1991. Influence of tree spacing on performance of 'Garnet Beauty' peach. *Scientia Horticulturae* 48: 52-60.
- Vega, N.R., L.A. Aceves N., J. Trujillo A., y R. Arriaga 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* 3: 89-100.
- Winkel, T., Lhomme J. P., Laura J. P., Alcón C. M., Del Castillo C., and Rocheteau, A. 2009. Assessing the protective effect of Uni-varietally heterogeneous canopies against radiative frost: The case of quinoa on the Andean Altiplano. *Agricultural and forest meteorology* 149: 1759-1768.
- Zeevaart, J. AD. 2008. Leaf-produced floral signals. *Current Opinion in Plant Biology* 11:541-547.

CAPÍTULO III

RESPUESTA DEL DURAZNERO CON COMPOSICIÓN BI-VARIETAL EN UN AMBIENTE CON INCIDENCIA DE HELADAS. PARTE II: RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO.

RESPONSE OF PEACH TREES COMPOSED BY TWO CULTIVARS IN AN ENVIRONMENT OF FROST INCIDENCE. PART II: YIELD AND FRUIT QUALITY

RESUMEN

El duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] es uno de los frutales de clima templado más importantes del mundo. Su rentabilidad depende de altos rendimientos y calidad de fruto en temporada de escasez. Las variedades precoces o tardías en México, generan ventanas de mercado de mayor rentabilidad, pero en las zonas templadas se exponen a las heladas que limitan su cultivo. Se estableció un experimento para investigar si el duraznero compuesto de una variedad precoz en el estrato medio superior injertada sobre una tardía (composición bi-varietal), incrementa el rendimiento sin detrimento en la calidad del fruto que durazneros uni-varietales precoces alternados con tardíos. Para ello se evaluó la respuesta de dos variedades precoces (‘CP-Precoz’ y ‘Puebla’) y dos tardías (‘Supremo’ y ‘Zacatecas’) de duraznero, a la composición varietal del árbol, fertilización con NPK y abonado con pollinaza, en el rendimiento y calidad de fruto en condiciones de heladas. Se estableció un experimento factorial 2^5 en parcelas divididas en el Campo Experimental Valle de México en el 2005 y se evaluó en el ciclo productivo 2012. Las heladas de radiación que se presentaron no causaron daños a la producción de fruto. La combinación ‘Puebla’/‘Supremo’ en la composición bi-varietal (Cbi-v), tuvo el mayor rendimiento, eficiencia del rendimiento, número, peso y tamaño de frutos. La Cbi-v y el abonado con tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹, incrementaron los sólidos solubles totales en los frutos de ‘Supremo’ y disminuyeron la firmeza y la acidez en los de ‘Puebla’. Además, la Cbi-v y la fertilización con la fórmula 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹, incrementaron la concentración de sólidos solubles totales en los frutos de ‘Supremo’ y el índice de color en los de ‘Puebla’. Los durazneros bi-varietales con una fertilización adecuada de pollinaza y N-P₂O₅-K₂O, incrementaron el rendimiento y la calidad de los frutos en presencia de heladas no severas.

Palabras clave: eficiencia del rendimiento, composición varietal del árbol, pollinaza, durazno, NPK, inter-injerto.

INTRODUCCIÓN

El duraznero es uno de los frutales más importantes de clima templado en el mundo (Gullo *et al.*, 2014). Para que su producción sea rentable se requiere de rendimientos altos y fruto de calidad en temporada con baja oferta en el mercado. Las variedades precoces o tardías en la fecha de cosecha, en México, generan ventanas de oportunidad y mayor competitividad, para ello se requiere que su proceso de producción sea el adecuado para potenciarlas en condiciones ambientales restrictivas como las heladas, que se presentan en el Altiplano del país. El uso de porta-injertos e inter-injertos en duraznero han mostrado ventajas sobre las variedades comerciales por su: adaptación a suelos con pH alcalinos o ácidos (Giorgi *et al.*, 2005), tolerancia a enfermedades del suelo (Jiménez *et al.*, 2013), compatibilidad (Yano *et al.*, 2002a), mayor absorción y traslocación de nutrimentos (Yano *et al.*, 2003; Martínez-Ballesta *et al.*, 2010), mayor traslocación de fotosintetizados a la raíz (Yano *et al.*, 2002a). Así mismo, disminuyen la competencia entre el crecimiento vegetativo y reproductivo (Chalmers *et al.*, 1981; Marra *et al.*, 2013), el vigor (Solari *et al.*, 2006a; Solari *et al.*, 2006c; Tombesi *et al.*, 2010a; Tombesi *et al.*, 2010b), incrementan la producción y calidad del fruto (Drogoudi y Tsipouridis, 2007; Font *et al.*, 2013; Gullo *et al.*, 2014), la producción de fruto por unidad de área transversal del tronco (Scarpate *et al.*, 2000; Yano *et al.*, 2002c), y adelanto o demora en la fecha de floración y cosecha (Carrera y Gomez-Aparasi, 1998; Fonseca *et al.*, 2010; Orazem *et al.*, 2013; Malcom *et al.*, 2014). Finalmente facilitan altas densidades de plantaciones con menos requerimiento de poda (Świerczyński y Stachowiak, 2009) e incremento en la longevidad de los árboles (Yano *et al.*, 2002a; Yano *et al.*, 2003).

Además, el manejo adecuado de la fertilización mineral y abonado con estiércol (Bussi *et al.*, 1994; Falguera *et al.*, 2012; Bravo *et al.*, 2012), densidad de población (Santiago-Mejía *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2008), formación del árbol (Génard *et al.*, 1998; He *et al.*, 2008), distribución y carga de frutos (Alcobendas *et al.*, 2012; Parra-Quezada *et al.*, 2014), mejora la producción y la calidad del fruto.

A pesar de los aportes científicos y tecnológicos en el manejo del duraznero, se necesita la integración de estos avances abordados en su mayoría de forma aislada para generar tecnologías adecuadas con las variedades disponibles en ambientes con incidencia de heladas. Con base en lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la composición varietal del árbol usando dos variedades precoces y dos tardías de duraznero a la composición varietal del

árbol y la fertilización con NPK y pollinaza en el rendimiento y calidad de fruto en condiciones de heladas. Con la hipótesis que durazneros compuestos de una variedad precoz en el estrato medio superior injertada en una tardía y a su vez ésta sobre un porta-injerto (variedad precoz/variedad tardía/porta-injerto), rinden más sin detrimento de la calidad del fruto debido a que se disminuye el daño por heladas de radiación que en durazneros uni-varietales precoces (variedad precoz/porta-injerto) alternados con uni-varietales tardíos (variedad tardía/porta-injerto).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se realizó en un experimento de duraznero con el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) establecido en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), el “Horno”, Texcoco, estado de México, en el 2005. El sitio está localizado a 19°29'17" N y 98°53'41" O, a una altitud de 2,280 m. El clima es templado seco, con temperatura media anual de 15.45 °C, precipitación media anual de 644 mm y el suelo es Fluvisol Móllico (Govaerts *et al.*, 2008).

Diseño experimental

Se utilizaron dos niveles de los factores: 1) Composición varietal del árbol (Cva), bi-varietal y uni-varietal; 2) Variedad tardía (Vt), ‘Supremo’ y ‘Zacatecas’; 3) Variedad precoz (Vp), ‘CP-Precoz’ y ‘Puebla’; 4) Fertilizante N-P₂O₅-K₂O (F), 60-15-60 y 90-30-90 g árbol-año⁻¹; y 5) Pollinaza (P), cero y tres kg árbol-año⁻¹. El diseño de tratamientos fue un factorial 2⁵ con una repetición en un diseño de Parcelas Divididas, de 32 tratamientos, con confusión para lotificación a ¼. Las características del experimento 2⁵, y la metodología utilizados se presentan en el Capítulo II de la tesis.

Material vegetal

Los porta-injertos en todos los tratamientos fueron plantas germinadas de semilla criolla de durazno. Las variedades precoces fueron ‘CP Precoz’ y ‘Puebla’, y tardías ‘Supremo’ y ‘Zacatecas’.

Manejo del cultivo

Los durazneros se plantaron en la hilera con una orientación norte-sur a una distancia de un metro entre ellos, en mayo de 2005. La conducción de los árboles fue a través del sistema

‘Tatura’ modificado (Cortés *et al.*, 2005), dejando una rama principal al árbol, orientada de forma perpendicular a la hilera, con una inclinación de 30° aproximadamente en relación al tronco del árbol. La rama del árbol contiguo se orientó en sentido opuesto al anterior y así sucesivamente. La altura promedio de los árboles a los seis años fue de 3.0 m. La unidad experimental fue de cuatro árboles y la parcela útil de los dos árboles centrales.

Los durazneros uni-varietales, que se formaron de un árbol completo de la variedad tardía, ‘Supremo’ o ‘Zacatecas’, se alternaron sobre la misma hilera con uno de la variedad precoz, ‘CP Precoz’ o ‘Puebla’. Los durazneros bi-varietales fueron árboles compuestos: estrato medio superior de una variedad precoz injertada en una variedad tardía en el estrato medio inferior.

La fertilización con N-P₂O₅-K₂O y la pollinaza fue a partir del año 2006. En ese año las fórmulas del fertilizante fueron 20-5-20 y 30-10-30 g de N-P₂O₅-K₂O por árbol, con incremento progresivo durante tres años. A partir del 2008, las fórmulas se mantuvieron en 60-15-60 y 90-30-90 según el tratamiento. Las dosis iniciales de pollinaza fueron cero y un kg árbol⁻¹ con incremento progresivo hasta llegar a cero y tres kg árbol⁻¹ en el año 2008. Las fechas de aplicación fueron abril (1/3-1-1-0 de N, P, K, Pollinaza) y agosto (2/3-0-0-1 N, P, K, Pollinaza) de cada año. Tanto el fertilizante N-P₂O₅-K₂O como la pollinaza se aplicaron en las dos zonas de goteo de la hilera de árboles, a una profundidad de 20 cm. El experimento se mantuvo sin restricción de humedad, con riego por gravedad.

Variables evaluadas

Rendimiento del árbol y eficiencia del rendimiento. Se registró el número de frutos por árbol y cuando alcanzaron la madurez comercial se cosecharon y se pesaron cada uno de ellos en una balanza electrónica Mettler PC 2000 (Germany). La eficiencia de rendimiento es el índice de la producción total por árbol/área de la sección transversal del tronco y fue calculada de acuerdo a Westwood (1988), para ello se midió el diámetro del tronco 5 cm arriba del injerto para el caso de los árboles de composición uni-varietal; 5 cm arriba del injerto tanto en la variedad tardía como en la variedad precoz para los árboles de composición bi-varietal, con un vernier digital (Truper; México). Se evaluaron los dos árboles de la parcela útil de cada tratamiento, los de composición uni-varietal un árbol precoz y un tardío; en los árboles de composición bi-varietal se midieron las dos mitades de la variedad tardía (estrato medio inferior) y las dos de la precoz (estrato medio superior). Los valores se promediaron para obtener el índice de eficiencia del rendimiento por un árbol completo por variedad. Los datos se analizaron de dos maneras: 1) la eficiencia del

rendimiento de la variedad precoz y de la variedad tardía por separado, y 2) la suma de la eficiencia de la variedad precoz más la tardía (eficiencia total del tratamiento).

Número, peso y tamaño de frutos. El número, peso y diámetro ecuatorial y polar (cm) de cada fruto por árbol se registraron al momento de la cosecha.

Calidad de fruto

Para las variables firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y color del fruto se seleccionaron seis frutos al azar por árbol de duraznero de composición uni-varietal, y tres frutos de la variedad tardía y tres de la precoz de los de composición bi-varietal.

Firmeza. Para medir la firmeza de los frutos se usó un texturómetro Chatillon, modelo FDV-30 (USA) con un puntal de 8 mm de diámetro y 8 mm de profundidad de acuerdo al método de Kader y Mitchel (1989), y se reportó en kg cm^{-2} .

Sólidos solubles totales (SST). Los SST se cuantificaron en °Brix con un refractómetro digital PR-100 ATAGO (Tokio, Japan).

Acidez titulable (AT). Para medir la AT se siguió el método propuesto por la AOAC (1990), y se reportó en porcentaje de ácido málico.

Color. El color del pericarpio de los frutos se registró con un colorímetro por reflexión HunterLab D25 (Virginia, USA) de acuerdo a la metodología de Little (1975), los resultados se reportaron como índice de color o °Hue= $\tan^{-1}(b/a)$ e índice de saturación (S) = $(a^2 + b^2)^{1/2}$.

Análisis estadístico

Los datos de las variables de rendimiento y calidad de fruto se analizaron con ANOVA ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$) y análisis de regresión mediante el procedimiento de selección a pasos (Stepwise) ($sle=0.10$, $sls=0.05$ y variables “mudas” o dummy que permiten saber el efecto de cada factor de estudio) mediante el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9. Los gráficos se elaboraron con el programa SigmaPlot versión 11.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se reportó en el Capítulo II de la tesis, durante el invierno 2011-2012, las heladas intensas de radiación se presentaron en el periodo en que aún no iniciaba la floración de las variedades precoces, por lo que no provocaron daños a las flores. Las heladas de intensidades intermedias y no severas no provocaron daños a la floración y amarre de fruto de las cuatro variedades. Por lo tanto, los resultados de rendimiento y calidad del fruto que a continuación se

presentan fue la respuesta del cultivo de duraznero en condiciones de heladas no severas que permitieron la fructificación normal de las variedades.

Rendimiento de fruto

El rendimiento (kg árbol⁻¹) en las variedades precoces, dependió de la variedad misma, de la variedad tardía y de la interacción composición varietal del árbol y variedad tardía (Cuadro 1). En las variedades tardías, el rendimiento dependió de la variedad y de las interacciones: variedad precoz y tardía, variedad tardía y fertilizante N-P₂O₅-K₂O, y variedad precoz y fertilización N-P₂O₅-K₂O; no hubo diferencia por la composición varietal del árbol (Cuadro 2).

Cuadro 1. Ecuaciones de regresión para rendimiento y calidad de fruto de variedades precoces de duraznero, que describen el efecto de la composición varietal del árbol (Cva), variedad tardía (Vt), variedad precoz (Vp), fertilizante N-P₂O₅-K₂O (F) y pollinaza (P).

Variable	Ecuación de regresión	R ²
Rendimiento (kg árbol ⁻¹) =	5.35933 + 1.08317Vt + 3.45504Vp + 1.51254 CvaVt	0.718
Eficiencia del rendimiento (kg cm ⁻² del área del tronco) =	0.30426 - 0.15574Cva + 0.18699Vp + 0.11699 CvaVt - 0.12176CvaVp	0.671
Peso del fruto (g) =	112.19537 - 25.38537Vp - 6.99901VtVp	0.768
Frutos totales (frutos árbol ⁻¹) =	58.37946 + 12.62054Vt + 44.37054Vp + 15.24554CvaVt	0.709
Diámetro ecuatorial (cm) =	5.97744 - 0.35181Vp - 0.12131VtVp	0.751
Diámetro polar (cm) =	5.73774 - 0.62524Vp - 0.11539VtVp	0.837
Firmeza (kg cm ⁻²) =	0.32049 + 0.04951Vt + 0.07139Vp + 0.04111 CvaP + 0.05486VtVp	0.723
Sólidos solubles totales (°Brix) =	13.11479 - 0.75854Vp	0.371
Acidez titulable (% de ácido málico) =	0.95087 - 0.05850Cva + 0.26288Vp + 0.06837CvaP	0.780
Índice de color o °Hue=	70.16789 + 8.21024Vp - 2.4946CvaF	0.686

Cva= bi-varietal y uni-varietal. Vt= 'Supremo' y 'Zacatecas'. Vp= 'CP-Precoz' y 'Puebla'. F= 60-15-60 y 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹. P= cero y tres kg árbol-año⁻¹. Para conocer el efecto de un factor determinado en la variable de respuesta, este toma el valor de uno en la ecuación y el resto de factores el valor de cero.

Entre las variedades precoces 'Puebla' rindió más que 'CP-Precoz' y su mayor rendimiento ocurrió cuando se injertó sobre 'Supremo' que en 'Zacatecas' (composición bi-varietal del árbol); alcanzando $9.62 \text{ kg árbol}^{-1}$. El rendimiento de 'Puebla' se abatió cuando se alternó con 'Supremo' (composición uni-varietal del árbol), y aún más cuando se alternó a 'Zacatecas' (Figura 1). 'CP-Precoz' rindió mejor ($4.0 \text{ kg árbol}^{-1}$) cuando se alternó con 'Zacatecas' que cuando se injertó en él, y rindió menos ya sea alternado o injertado con 'Supremo' (Figura 1).

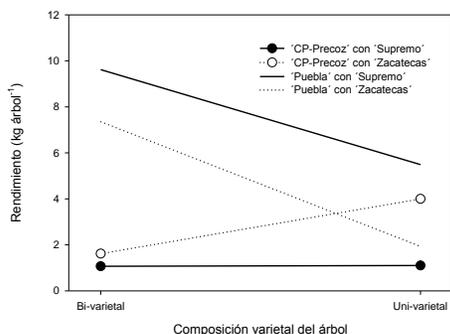


Figura 1. Efecto de la interacción composición varietal del árbol y variedad tardía, sobre el rendimiento de fruto de las variedades precoces de duraznero, 'CP-Precoz' y 'Puebla'.

Entre las variedades tardías, 'Supremo' rindió más que 'Zacatecas', con la fórmula $60-15-60 \text{ g de N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O árbol-año}^{-1}$ rindió $0.6 \text{ kg árbol}^{-1}$ más cuando se le injertó o alternó 'Puebla' que con 'CP-Precoz'. Con la fórmula $90-30-90 \text{ g de N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O árbol-año}^{-1}$, 'Supremo' tuvo su rendimiento más alto cuando se le injertó o alternó 'CP-precoz' ($20.6 \text{ kg árbol}^{-1}$), con Puebla su rendimiento fue de $13.7 \text{ kg árbol}^{-1}$. 'Zacatecas' tuvo un desempeño agronómico deficiente, su rendimiento fue nulo cuando se alternó o injertó con 'Puebla' y su rendimiento con 'CP-Precoz' fue apenas de $0.08 \text{ kg árbol}^{-1}$ (Figura 2).

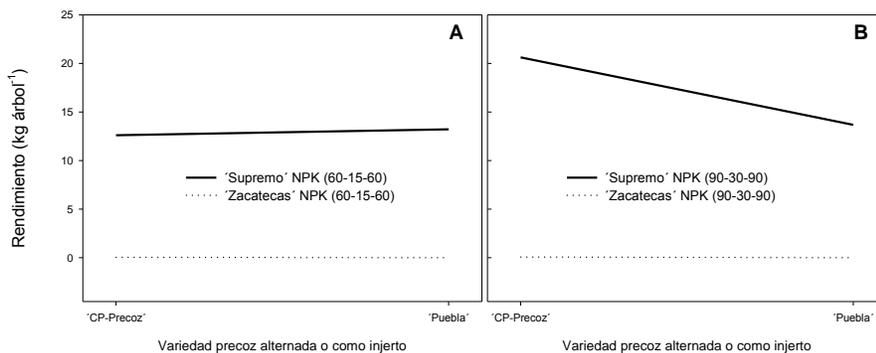


Figura 2. Efecto de las interacciones (A) variedad precoz y fórmula baja $60-15-60 \text{ g de N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O árbol-año}^{-1}$ y (B) variedad precoz y fórmula alta $90-30-90 \text{ g de N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O árbol-año}^{-1}$, sobre el rendimiento de fruto de las variedades tardías.

Cuadro 2. Ecuaciones de regresión para rendimiento y calidad de fruto de variedades tardías de duraznero, que describen el efecto de la composición varietal del árbol (Cva), variedad tardía (Vt), variedad precoz alternada (Vp), fertilizante N-P₂O₅-K₂O (F) y pollinaza (P).

Variable	Ecuación de regresión	R ²
Rendimiento (kg árbol ⁻¹) =	8.43937 - 6.58875Vt - 1.58563VtVp - 2.09062VtF -1.91563VpF	0.918
Eficiencia del rendimiento (kg cm ⁻² del área del tronco) =	0.21156 - 0.19656Vt - 0.04667VtF	0.716
Frutos totales (frutos árbol ⁻¹) =	77.84375 - 75.34375Vt	0.563
Firmeza (kg cm ⁻²) =	0.46531 + 0.19969Vt	0.865
Sólidos solubles totales (°Brix) =	12.13750 + 0.85000Cva - 0.41250CvaP + 0.52222VpF	0.732
Acidez titulable (% de ácido málico) =	1.67906 + 0.49594Vt	0.678
Índice de color o °Hue=	78.38063 + 8.30438Vt	0.296

Cva= bi-varietal y uni-varietal. Vt= 'Supremo' y 'Zacatecas'. Vp= 'CP-Precoz' y 'Puebla'. F= 60-15-60 y 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹. P= cero y tres kg árbol-año⁻¹. Para conocer el efecto de un factor determinado en la variable de respuesta, este toma el valor de uno en la ecuación y el resto de factores el valor de cero.

Eficiencia de rendimiento

Las variedades precoces tuvieron una mayor eficiencia de rendimiento (kg de fruto cm⁻² del área del tronco) en el árbol bi-varietal que en el uni-varietal (Cuadro 1), lo que significa que con diámetros menores del tronco en la composición bi-varietal tuvieron mayor rendimiento que con troncos más gruesos en la composición uni-varietal. También, la eficiencia de rendimiento dependió de la variedad misma y de las interacciones: composición varietal del árbol y variedad tardía, y composición varietal del árbol y variedad precoz (Cuadro 1). Las variedades 'CP-Precoz' y 'Puebla' tuvieron una mayor eficiencia del rendimiento con 'Supremo' en el árbol bi-varietal que en el uni-varietal, 0.15 y 0.93 kg de fruto cm⁻² del área del tronco, respectivamente (Figura 3A). En el árbol bi-varietal, 'Puebla' con 'Zacatecas' tuvo el mismo comportamiento pero con rendimientos menores; en cambio 'CP-Precoz' tuvo una mayor eficiencia cuando se alternó con 'Zacatecas' (Figura 3A).

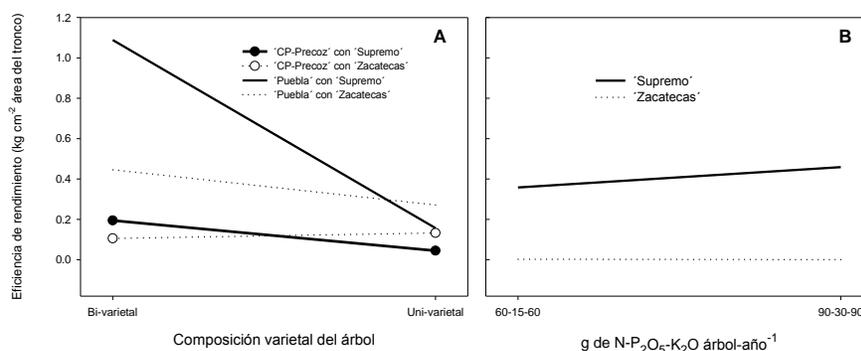


Figura 3. Efecto de las interacciones (A) composición varietal del árbol y variedad tardía en las variedades precoces y (B) fertilizante N-P₂O₅-K₂O y variedad tardía, sobre la eficiencia de rendimiento de duraznero.

Los mayores rendimientos por área transversal del tronco del árbol en las variedades precoces de los árboles bi-varietales están estrechamente relacionados con la variedad tardía como inter-injerto. La elección adecuada de inter-injertos incrementa el rendimiento y la eficiencia de las variedades injertadas, debido a que regulan la competencia entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo (Chalmers *et al.*, 1981; Yano *et al.*, 2002c; Marra *et al.*, 2013), disminuye el vigor del injerto (Solari *et al.*, 2006b; Aloni *et al.*, 2010; Tombesi *et al.*, 2011), mejora la absorción y la traslocación acrópeta de nutrimentos (Yano *et al.*, 2003; Martínez-Ballesta *et al.*, 2010) e incrementa el abastecimiento de fotosintetizados de reserva a la raíz (Yano *et al.*, 2002a).

La variedad 'Supremo' no tuvo diferencias en la eficiencia de rendimiento debido a la composición varietal del árbol, sino más bien dependió de la variedad y de la interacción entre variedad y fertilización de NPK (Cuadros 2); la eficiencia fue mayor (0.46 kg de fruto cm⁻² del área del tronco) con la fórmula alta de fertilizante 90-30-90 g de N- P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹ (Figura 3B).

El incremento en el rendimiento y la eficiencia (kg de fruto cm⁻² del área del tronco) de las variedades tardías más que el de las precoces debido a la fertilización con N-P₂O₅-K₂O pudo deberse a que las primeras tuvieron mayores requerimientos nutrimentales por la competencia con las variedades precoces, ya que éstas empezaron a crecer antes que las tardías y de alguna manera abatieron las reservas de fotosintetizados en los órganos de reserva (raíz y tallo) en el caso de los árboles bi-varietales, o en los árboles uni-varietales precoces aprovecharon primeramente los nutrimentos en el suelo cuando se alternaron con los tardíos. Una adecuada

fertilización con NPK en duraznero, incrementa los rendimientos (Bussi *et al.*, 1994; Torres *et al.*, 2008; Falguera *et al.*, 2012).

Al sumar las eficiencias de rendimiento de la variedad precoz y la tardía, la eficiencia total dependió de la composición varietal del árbol, variedad tardía, variedad precoz y de las interacciones: composición varietal del árbol y variedad precoz, composición varietal del árbol y variedad tardía (Cuadro 3). La mayor eficiencia 1.46 kg de fruto cm^{-2} del área del tronco, fue en los árboles bi-varietales, en la combinación ‘Supremo’ como inter-injerto y ‘Puebla’ como injerto (Fig. 4), que corresponde al mayor rendimiento de las combinaciones, 11.45 kg por árbol⁻¹; de los cuales ‘Supremo’ aporta 6.70 y ‘Puebla’ 4.75 kg. Este rendimiento por árbol bi-varietal equivale a 7.9 t de fruto ha^{-1} MIAF, en los cuales los árboles ocupan solamente una tercera parte de la superficie.

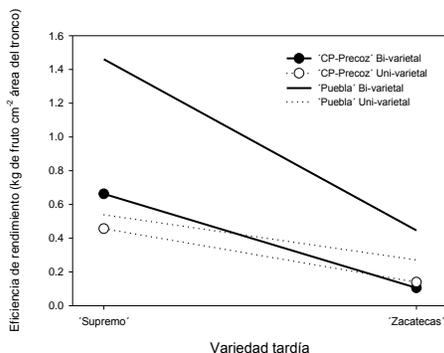


Figura 4. Efecto de la interacción variedad tardía y composición varietal del árbol, sobre la eficiencia total del rendimiento de durazneros (variedad tardía + variedad precoz).

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión para rendimiento y eficiencia de rendimiento totales de las variedades precoces y tardías de duraznero, que describen el efecto de la composición varietal del árbol (Cva), variedad tardía (Vt), variedad precoz alternada (Vp), fertilizante N-P₂O₅-K₂O (F) y pollinaza (P).

Variable	Ecuación de regresión	R ²
Rendimiento total (kg dos árboles ⁻¹) =	12.91156 -6.43594Vt + 2.62406Vp	0.763
Eficiencia de rendimiento total (kg cm^{-2} del área del tronco) =	0.51 - 0.15875Cva - 0.26875Vt + 0.16813Vp + 0.12250CvaVt - 0.11563CvaVp	0.799

Cva= bi-varietal y uni-varietal. Vt= ‘Supremo’ y ‘Zacatecas’. Vp= ‘CP-Precoz’ y ‘Puebla’. F= 60-15-60 y 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹. P= cero y tres kg árbol-año⁻¹. Para conocer el efecto de un factor determinado en la variable de respuesta, este toma el valor de uno en la ecuación y el resto de factores el valor de cero.

Número, peso y tamaño del fruto

El número, peso y tamaño de los frutos por árbol de las variedades precoces estuvo relacionado directamente con el rendimiento. El número de frutos dependió de la variedad misma, variedad tardía y de la interacción composición varietal del árbol y variedad tardía (Cuadro 1). 'Puebla' tuvo más frutos en el árbol bi-varietal (106) con 'Supremo' que el árbol uni-varietal (62.5) con un número similar injertado en 'Zacatecas' (93.5) y cuando se alternó a éste, se incrementaron a 149 (Figura 5A), pero disminuyeron su peso de 90 a 83.7 g fruto⁻¹ (Figura 5B) y tamaño (Cuadro 1). 'CP-Precoz' tuvo más frutos en el árbol uni-varietal que en el bi-varietal, ya sea con 'Supremo' o 'Zacatecas', con 18.3 frutos más árbol⁻¹ alternado a 'Zacatecas' que en 'Supremo' (Figura 3A), con un mayor peso de 126.2 a 148.4 g (Figura 5B) y tamaño (Cuadro 2). 'Supremo' no tuvo diferencias en el número, peso y tamaño de los frutos de acuerdo a la composición varietal del árbol u otro factor de estudio (Cuadro 2). Entonces mayor número de frutos por árbol, de mayor tamaño y peso de la variedad 'Puebla' más los frutos de 'Supremo', resultan en el mayor rendimiento por árbol bi-varietal que uni-varietal (9.62 y 5.49 kg árbol⁻¹, respectivamente).

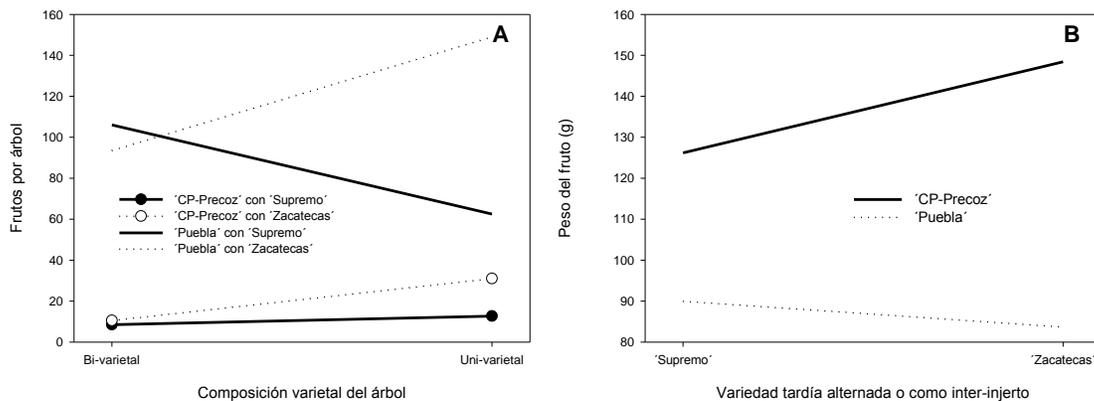


Figura 5. Efecto de las interacciones (A) composición varietal del árbol y variedad tardía, sobre el número de frutos por árbol y (B) variedad tardía y variedad precoz sobre el peso del fruto, de durazneros precoces.

Calidad del fruto

Firmeza. La firmeza del fruto (kg cm⁻²) de las variedades precoces, dependió de la variedad misma, variedad tardía y de las interacciones: composición varietal del árbol y pollinaza, y variedad tardía y precoz (Cuadro 1). Mientras que el fruto de la variedad tardía 'Supremo' no

tuvo diferencias de firmeza debido a la composición varietal del árbol u otro factor estudiado (Cuadro 2). La firmeza del fruto de 'Puebla' fue menor que el de 'CP-Precoz' cuando estuvieron con 'Supremo', 0.21 y 0.25 kg cm⁻², respectivamente; pero 'Puebla' la duplicó con 'Zacatecas'; mientras 'CP-Precoz' la mantuvo (Figura 6A). Ambas variedades precoces, sin pollinaza presentaron 0.10 kg cm⁻² más firmeza en la composición bi-varietal del árbol que la uni-varietal, pero con tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹ se disminuyó de 0.36 a 0.29 kg cm⁻² en los durazneros bi-varietales y se incrementó de 0.26 a 0.38 kg cm⁻² en los uni-varietales (Figura 6B). La reducción de la firmeza en los durazneros bi-varietales debido al abonado con pollinaza coinciden con los reportados por Pinedo-Espinoza *et al.* (2004) que sin aplicaciones de pollinaza la firmeza de los duraznos fue mayor que con pollinaza. Estos resultados indican que habría que calcular las dosis adecuadas de pollinaza para cada variedad sin detrimento en la firmeza del fruto, ya que disminuye las pérdidas por afectaciones en el transporte e incrementa la vida de anaquel.

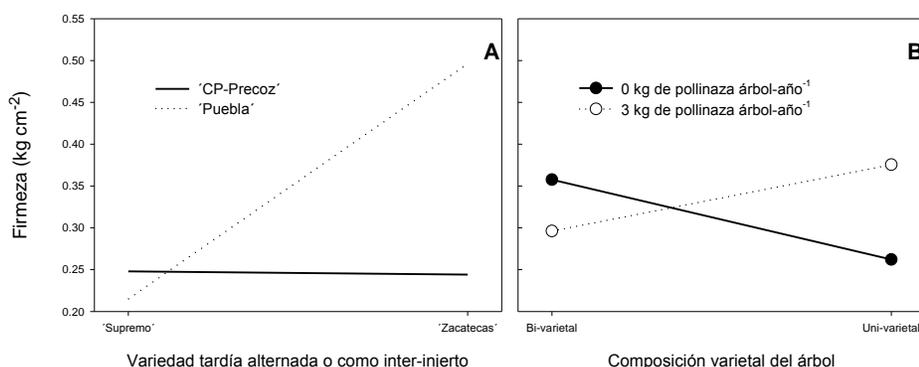


Figura 6. Efecto de las interacciones (A) variedad tardía y variedad precoz y (B) composición varietal del árbol y pollinaza, sobre la firmeza del fruto de durazneros precoces.

Sólidos solubles totales. Los grados Brix del fruto de las variedades precoces, dependieron solo de la variedad; fueron mayores en 'CP-Precoz' que en 'Puebla', 12.3 y 13.1, respectivamente (Cuadro 1); no se afectaron por la composición varietal del árbol u otro factor estudiado. En las variedades tardías dependieron de la composición varietal del árbol y de las interacciones: composición varietal del árbol y pollinaza, y variedad precoz y fertilización de N-P₂O₅-K₂O (Cuadro 2). 'Supremo' tuvo menos ° Brix en los árboles bi-varietales que los uni-varietales (en promedio 11.3 y 12.9, respectivamente), pero en los bi-varietales se incrementaron de 10.6 sin pollinaza a 11.94 con tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹ (Figura 7A). Con la fórmula 60-15-60 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹, la concentración de SST fue 1.6 ° Brix mayor cuando los árboles de 'Supremo' se alternaron o se les injertó 'CP-Precoz' que con 'Puebla'. 'Supremo' con 'Puebla'

incrementó la concentración de ° Brix cuando se aplicó la fórmula 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹, de 11.1 a 12.6 (Figura 7B). Los valores de °Brix que se reportan en esta investigación en términos de comercialización de fruta fresca, están en el rango de buena calidad (Santiago-Mejía *et al.*, 2008).

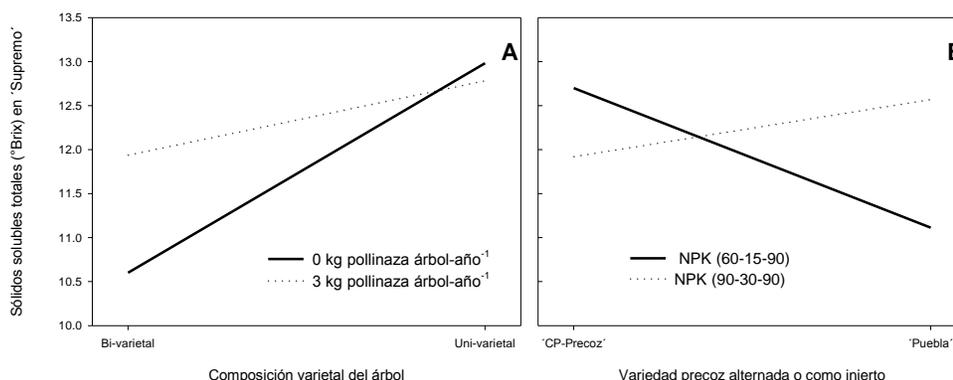


Figura 7. Efecto de las interacciones (A) composición varietal del árbol y pollinaza y (B) variedad precoz y fertilización de N-P₂O₅-K₂O, sobre la concentración de sólidos solubles totales del fruto de la variedad 'Supremo' de duraznero.

Los porta-injertos pueden modificar la concentración de azúcares individuales y totales del fruto (Font *et al.*, 2013); porta-injertos adecuados incrementan el contenido de azúcares (Yano *et al.*, 2002c; Giorgi *et al.*, 2005; Font *et al.*, 2012). La fertilización con pollinaza y N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹ incrementa los SST (Hernández-Fuentes *et al.*, 2003; Santiago-Mejía *et al.*, 2008). Kandil *et al.* (2010) mencionan que la fertilización nitrogenada incrementó los azúcares totales, aunque Bussi *et al.*, (1994) reportaron lo contrario. Con 'Puebla' los rendimientos de 'Supremo' son altos pero pueden disminuir los SST si no se cuida la nutrición de los árboles.

Acidez titulable. El porcentaje de ácido málico de los frutos de las variedades precoces, dependió de la variedad misma, de la composición varietal del árbol y de la interacción composición varietal y pollinaza (Cuadro 1); en tanto que 'Supremo' no presentó diferencias (Cuadro 2). El fruto de 'Puebla' presentó 0.3 % mayor acidez que el de 'CP-Precoz', las dos variedades precoces tuvieron en promedio 0.06 % más ácido málico en los frutos de los árboles de la composición bi-varietal con relación a la uni-varietal. La fertilización con pollinaza disminuyó la acidez del fruto de 1.5 a 1.2 % de 'Puebla' en la composición bi-varietal; pero la incrementó de 1.0 a 1.2 en la composición uni-varietal, (Figura 8). El fruto de 'CP-Precoz' en el árbol bi-varietal con y sin pollinaza no presentó diferencias de acidez, en cambio en el árbol uni-

varietal la fertilización con pollinaza disminuyó la acidez de 0.8 a 0.7 % (Figura 8). La acidez de duraznos puede ser modificada por los porta-injertos en algunos casos, la incrementan o la disminuyen (Giorgi *et al.*, 2005), al grado que el fenotipo de los porta-injertos puede definir la calidad del fruto de las variedades (Orazem *et al.*, 2011). El abonado con pollinaza modifica la acidez de los frutos, dependiendo de la variedad y la composición varietal del árbol; en la composición bi-varietal, la aplicación de pollinaza a 'Puebla' disminuyó la acidez de los frutos, mientras que en los de 'CP-Precoz' no la modificó.

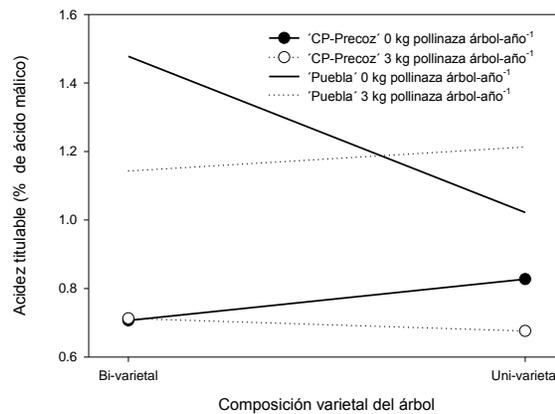


Figura 8. Efecto de la interacción composición varietal del árbol y pollinaza, sobre la acidez titulable del fruto de los durazneros precoces.

Color. El índice de color del pericarpio ($^{\circ}$ Hue) de los frutos de las variedades precoces, se afectó por la variedad y de la interacción composición varietal del árbol y fertilizante de N-P₂O₅-K₂O (Cuadro 1); no hubo diferencias en la luminosidad y en el índice de saturación. Las variedades tardías no presentaron diferencias en los parámetros de color, solo se observaron las diferencias de índice de color propias de cada variedad (Cuadro 2). El índice de color ($^{\circ}$ Hue) de los frutos de las dos variedades precoces fue menor 6.3 en los árboles bi-varietales que en los uni-varietales con la fórmula 60-15-60 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹, de 56.6 y 62.9, respectivamente; pero se incrementó en los árboles bi-varietales con relación a los uni-varietales de 60.2 a 67.8 con la fórmula 90-30-90 (Figuras 9A-B). Los porta-injertos pueden incrementar el color del pericarpio de los frutos de las variedades injertadas (Drogoudi y Tsiouridis, 2007; Gullo *et al.*, 2014), la fertilización con NPK también incrementa el color de los frutos (Hernández-Fuentes *et al.*, 2003).

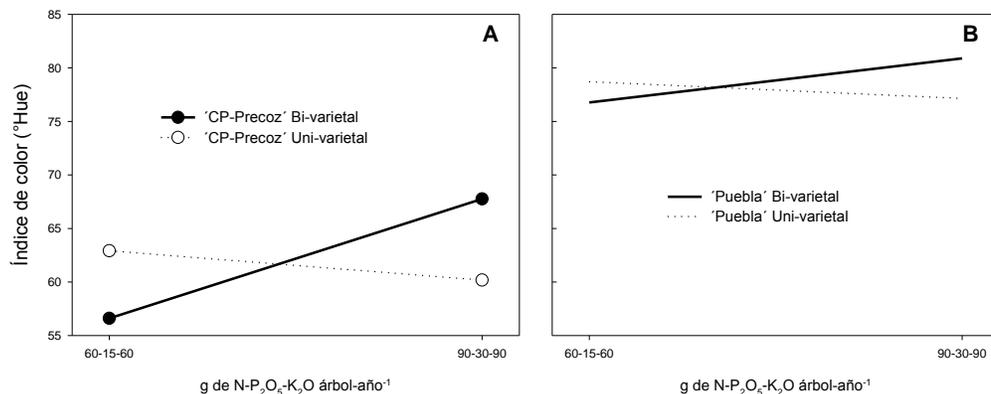


Figura 9. Efecto de la interacción fertilizante N-P₂O₅-K₂O y composición varietal del árbol (A) en 'CP-Precoz' y (B) en 'Puebla', sobre el índice de color del fruto de durazneros precoces.

CONCLUSIONES

El mejor desempeño agronómico fue la combinación 'Puebla'/'Supremo', en la composición bi-varietal del árbol en un ambiente con incidencia de heladas de radiación no severas. Esta combinación tuvo el mayor rendimiento (11.45 kg por árbol⁻¹), eficiencia de rendimiento, número, peso y tamaño de frutos. La composición bi-varietal del árbol y el abonado con tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹, incrementaron los sólidos solubles totales (de 10.6 a 11.94 ° Brix) en los frutos de 'Supremo' y disminuyeron la firmeza (de 0.36 a 0.29 kg cm⁻²) y la acidez (de 1.5 a 1.2 %) en los de 'Puebla'. Además, la composición bi-varietal del árbol y la fertilización con la fórmula 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹, incrementaron la concentración de sólidos solubles totales (11.1 a 12.6 ° Brix) en los frutos de 'Supremo' y el índice de color (60.2 a 67.8 °Hue) en los de 'Puebla'.

Por lo tanto, la alternativa de usar durazneros compuestos de una variedad precoz en el estrato medio superior injertada sobre una tardía (árboles bi-varietales), con una fertilización adecuada de pollinaza y N-P₂O₅-K₂O, tiene potencial para incrementar el rendimiento y la calidad de los frutos en condiciones de riesgo de heladas no severas. Queda pendiente probar esta alternativa en condiciones de heladas de radiación severas.

LITERATURA CITADA

- Alcobendas R., J. M. Mirás-Avalos, J. J. Alarcón, F. Pedrero, and E. Nicolás. 2012. Combined effects of irrigation, crop load and fruit position on size, color and firmness of fruits in an extra-early cultivar of peach. *Scientia Horticulturae* 142:128-135.
- Official Methods of Analysis (AOAC). 13th Edition. 1990. Association of official agricultural chemist. Washington, D. C. USA. 1023 p.
- Aloni, B., R. Cohen, L. Karni, H. Aktas, and M. Edelstein. 2010. Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae* 127: 119-126.
- Bravo K., M. Toselli , E. Baldi, G. Marcolini, G. Sorrenti, M. Quartieri, and B. Marangoni. 2012. Effect of organic fertilization on carbon assimilation and partitioning in bearing nectarine trees. *Scientia Horticulturae* 137:100-106.
- Bussi C., J.G. Huguet, J. Besset, and T. Girard. 1994. Effects of nitrogen fertilization applied during trickle irrigation on the growth and fruit yield of peach. *European Journal of Agronomy* 3:243-248.
- Carrera, M. and Gomez-Aparasi J. 1998. Rootstock influence on the performance of the peach variety ‘Catherine’. *Acta Horticulturae* 465: 573-578.
- Chalmers, D. J., Mitchell, P. D., and Van Heek, L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106:307-312.
- Cortés, J.F., Turrent F.A., Díaz P.V., Hernández E.R., Mendoza R. y Aceves E. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. (SAGARPA, Ed.) México: Colegio de Postgraduados. <sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/03%20MILPA%20INTERCALADA%20CON%20FRUTALES.pdf> (Consultado 23 de julio de 2014)
- Drogoudi D.P. and C. G. Tsipouridis. 2007. Effects of cultivar and rootstock on the antioxidant content and physical characters of clingstone peaches. *Scientia Horticulturae* 115:34-39.
- Falguera V., J. Lordan, F. Gatiús, M. Pascual, J.M. Villar, A. Ibarz, and J. Rufat. 2012. Influence of nitrogen fertilization on polyphenol oxidase activity in peach fruits. *Scientia Horticulturae* 142:155-157.

- Fonseca, P. T. Z., C. S. Madruga L., M. Aldrighi G., L. Rufato, and A. De Rossi R. 2010. Crescimento vegetativo, floração e frutificação efetiva do pessegueiro 'Jubileu' submetido a diferentes comprimentos de interenxertos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 45: 973-979.
- Font, F.C., Y. Gogorcena, and M.A. Moreno. 2012. Agronomical and fruit quality traits of two peach cultivars on peach-almond hybrid rootstocks growing on Mediterranean conditions. *Scientia Horticulturae* 140:157-163.
- Font, F.C., Y. Gogorcena, and M.A. Moreno. 2013. Fruit sugar profile and antioxidants of peach and nectarine cultivars on almond x peach hybrid rootstocks. *Scientia Horticulturae* 164:563-572.
- Génard M., F. Lescourret, M.B. Mimoun, J. Besset, and C. Bussi. 1998. A simulation model of growth at the shoot-bearing fruit level. II. Test and effect of source and sink factors in the case of peach. *European Journal of Agronomy* 9:189-202.
- Giorgi, M., F. Capocasa, J. Scalzo, G. Murri, M. Battino, and B. Mezzetti. 2005. The rootstock effects on plant adaptability, production, fruit quality, and nutrition in the peach (cv. 'Suncrest'). *Scientia Horticulturae* 107: 36-42.
- Govaerts B., Barrera-Franco M.G., Limón-Ortega A., Muñoz-Jiménez P., Sayre D.K. y Deckers J. 2008. Clasificación y evaluación edafológica de tres sitios experimentales del altiplano central de México. *TROPICULTURA* 26:2-9.
- Gullo, G., A. Motisi, R. Zappia, A. Dattola, J. Diamanti, and B. Mezzetti. 2014. Rootstock and fruit canopy position affect peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] (cv. Rich May) plant productivity and fruit sensorial and nutritional quality. *Food Chemistry* 153: 234-242.
- He F., Wang. F., Wei. Q.P., Wang, X.W., and Zhang, Q. 2008. Relationships between the distribution of relative canopy light intensity and the peach yield and quality. *Agricultural Sciences in China* 7: 297-302.
- Hernández-Fuentes A.D., C. Saucedo-Veloz, M.T. Colinas-León, J. Rodríguez-Alcazar, J. I. Cortés F., y P. Sánchez-García. 2003. La fertilización en la calidad postcosecha de durazno (*Prunus persica* L. Batsch) bajo frigoconservación. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 9:115-133.
- Jiménez S., J. Pinochet, J. Romero, Y. Gogorcena, M. A. Moreno, J. L. Espada. 2013. Performance of peach and plum based rootstocks of different vigour on a late peach cultivar in replant and calcareous conditions. *Scientia Horticulturae* 129:58-63.

- Kandil, E. A., M. I. F. Fawzi, and M. F. M. Shahin. 2010. The effect of some slow release nitrogen fertilizers on growth, nutrient status and fruiting of "Mit Ghamr" peach trees. *Journal of American Science* 6: 195-201.
- Kader, A.A. and Mitchell, F. G. 1989. Maturity and quality. In: Peaches, plum and nectarines. Growing and handling for fresh market. LaRue, J. H. and Johnson R, S. (eds). University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. USA. p. 191- 196.
- Little, A. C. 1975. Off on a tangent. *Journal of Food Science*. USA. 40:410-411.
- Malcolm, P.J., P. Holford, I. Barchia, and W.M. McGlasson. 2014. High and low root zone temperatures at bud-break reduce growth and influence dry matter partitioning in peach rootstocks. *Scientia Horticulturae* 171:83-90.
- Marra F.P., R. Lo Bianco, M. La Mantia, and T. Caruso. 2013. Growth, yield and fruit quality of 'Tropic Snow' peach on size-controlling rootstocks under dry Mediterranean climates. *Scientia Horticulturae* 160:274-282.
- Martínez-Ballesta, M. C., C. Alcaraz-López, B. Muries, C. Mota-Cadenas, M. Carvajal. 2010. Physiological aspects of rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae* 127:112–118.
- Orazem, P., F. Stampar, and M. Hudina. 2011. Quality analysis of 'Redhaven' peach fruit grafted on 11 rootstocks of different genetic origin in a replant soil. *Food Chemistry* 124:1691–1698.
- Orazem P., M. Mikulic-Petkovsek, F. Stampar, and M. Hudina. 2013. Changes during the last ripening stage in pomological and biochemical parameters of the 'Redhaven' peach cultivar grafted on different rootstocks. *Scientia Horticulturae* 160:326-334.
- Parra-Quezada R. A., J. L. Jacobo-Cuellar, J. Castro-Aguilar y J. J. Salmerón-Zamora. 2014. Intensidad de raleo y calidad de fruto en durazno cv Baby Gold 8. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:549-559.
- Pinedo-Espinoza J.M., J.I. Cortés-Flores, M.T. Colinas-León, A. Turrent-Fernández, G. Alcantar-González, J. Rodríguez-Alcazar, M. Livera-Muñoz, y A.D. Hernández-Fuentes . 2004. Calidad de fruto de durazno 'Diamante' y 'Cp-88-8' intercalados en maíz y frijol. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10:211-217.

- Santiago-Mejía, E., J.I. Cortés-Flores, A. Turrent-Fernández, E. Hernández-Romero y D. Jaen-Contreras. 2008. Calidad del fruto del duraznero en el sistema milpa intercalada con árboles frutales en laderas. *Agricultura Técnica en México* 34:159-166.
- Scarpare, F. J.A., R.A. Kluge, F.V. Filho, J.T. Neto, e A.P. Jacomino. 2000. Comportamento de duas cultivares de pessegueiro com interenxerto da maeixeira 'Junuária'. *Pesq. agropec. bras., Brasília* 35: 757-765.
- Solari, L.I., Johnson, R.S., DeJong, T.M., 2006a. Relationship of water status to vegetative growth and leaf gas exchange of peach (*Prunus persica*) trees on different rootstocks. *Tree Physiol.* 26, 1333–1341.
- Solari, L.I., Johnson, R.S., DeJong, T.M., 2006b. Hydraulic conductance characteristics of peach (*Prunus persica*) trees on different rootstocks are related to biomass production and distribution. *Tree Physiol.* 26, 1343–1350.
- Solari, L.I., Pernice, F., DeJong, T.M., 2006c. The relationship of hydraulic conductance to root system characteristics of peach (*Prunus persica*) rootstocks. *Physiol. Plantarum* 128, 324–333.
- Sorce, C., Massai, R., Picciarelli, P., Lorenzi, R., 2002. Hormonal relationships in xylem sap of grafted and ungrafted *Prunus* rootstock. *Scientia Horticulturae* 93:333-342.
- Świerczyński S. and A. Stachowiak. 2009. The usefulness of four rootstocks for the production of maiden peach trees. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 17: 39-48.
- Tombesi S, Johnson RS, Day KR, DeJong TM. 2010a. Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size-controlling capacity of peach rootstocks. *Annals of Botany* 105: 327–331.
- Tombesi S., R. S. Johnson, K. R. Day, and T.M. DeJong. 2010b. Interactions between rootstock, inter-stem and scion xylem vessel characteristics of peach trees growing on rootstocks with contrasting size-controlling characteristics. *AoB PLANTS* plq013, doi:10.1093/aobpla/plq013.
- Tombesi S., A. Almehti, and T.M. DeJong. 2011. Phenotyping vigour control capacity of new peach rootstocks by xylem vessel analysis. *Scientia Horticulturae* 127:353-357.
- Torres Z.J.P., J. I. Cortés F., A. Turrent F., E. Hernández R., y A. Muratalla L. 2008. Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalados con milpa. *Terra Latinoamericana* 26:265-273.

- Westwood, M.N. 1988. Temperate-Zone Pomology, Revised ed. Timber Press, Portland, CO, USA.
- Yano, T., H. Inoue, Y. Shimizu, and S. Shinkai. 2002a. Dry matter partitioning and carbohydrate status of 'Kawanakajima Hakuto' peach trees grafted onto different rootstocks or with an interstock at pre-bloom period. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 71:164-170.
- Yano, T., H. Inoue, Y. Shimizu, S. Shinkai and M. Ochi. 2002c. Effect of *Prunus tomentosa* and *P. persica* rootstocks on yield, fruit quality, dry matter partitioning and trunk cross-sectional areas of six peach cultivars. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 71:730-737.
- Yano, T., Y. Umemiya, H. Inoue, Y. Shimizu, and S. Shinkai. 2003. Effects of rootstocks or with an interstock on ¹⁵N-labeled nitrogen absorption and distribution in 'Kawanakajima Hakuto' peach trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 72:177-181.

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados indicaron que la acumulación de granos de almidón en la yema floral se requiere para la diferenciación del xilema, microsporogénesis, microgametogénesis y desarrollo del ovario. La vascularización de la yema es progresiva y acrópeta; inicia en letargo en el pedúnculo floral, se establece con los verticilos vegetativos al final de este periodo, continua en yema hinchada con los estambres y carpelo, y en cáliz visible se establece hasta el estigma. La diferenciación de los óvulos de 'CP-Precoz', 'Supremo' y 'Zacatecas' sucedió rápidamente al final del letargo con excepción de la variedad 'Puebla' en la cual se inició a mediados del letargo. En yema hinchada, para las cuatro variedades, se estableció el xilema de los estambres y del carpelo, inició la microgametogénesis que culminó en cáliz visible; y en estambres visibles se alcanzó la diferenciación del óvulo y aún presentaba filamentos de procambium. Estos resultados establecen una relación entre la morfología y el desarrollo anatómico de las yemas florales de las cuatro variedades, información útil para mejorar el manejo agronómico del duraznero.

Las heladas de radiación severas se presentaron en el periodo en que aún no iniciaba la floración de las variedades precoces, por lo que no provocaron ningún daño. Además, las heladas de intensidades intermedias y moderadas no provocaron daños a la floración y amarre de fruto de las cuatro variedades. Por lo tanto, los resultados de floración, amarre de fruto, rendimiento y

calidad del fruto son la respuesta del cultivo de duraznero en condiciones de heladas a diferentes intensidades.

El estrato medio superior del árbol acumuló más unidades frío que el inferior y se relacionó con una mayor apertura y densidad floral de los durazneros uni-varietales tardíos. 'Zacatecas' tuvo granos de polen abortivos y defectos en la formación de su pared, situación que se reflejó en una nula producción de fruto. La composición bi-varietal en comparación de la uni-varietal, retrasó el periodo de floración de 'Supremo' con un efecto mayor con la fertilización 90-30-90 g de N- P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹. 'Supremo' como inter-injerto incrementó la apertura floral de las variedades precoces pero fue mayor en 'CP-Precoz' con tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹; en 'Puebla' retrasó el inicio de la floración y en ambas variedades se retrasó el final de la floración. Las cuatro variedades incrementaron el amarre de fruto, no obstante los frutos de 'Zacatecas' fueron muy pocos. La mejora en la floración y amarre de fruto en la composición bi-varietal condujo a mayor rendimiento, eficiencia del rendimiento, número, peso y tamaño de frutos, con 'Puebla' y 'Supremo' como la mejor combinación agronómica; también, la composición bi-varietal del árbol y el abonado con tres kg de pollinaza árbol-año⁻¹, incrementaron los sólidos solubles totales en los frutos de 'Supremo' y disminuyeron la firmeza y la acidez en los de 'Puebla'. Además, la composición bi-varietal del árbol y la fertilización con la fórmula 90-30-90 g de N-P₂O₅-K₂O árbol-año⁻¹, incrementaron la concentración de sólidos solubles totales en los frutos de 'Supremo' y el índice de color en los de 'Puebla'.

Por lo tanto la alternativa de usar árboles de durazno bi-varietales compuestos de una variedad precoz en el estrato superior injertada sobre una tardía, con una fertilización adecuada de pollinaza y N-P₂O₅-K₂O, tiene potencial para reducir el daño por heladas de radiación ya que incrementa y retrasa la floración, e incrementa el amarre de fruto, el rendimiento y la calidad de los frutos en condiciones de riesgo de heladas por radiación.