

Compensadores de frío en manzano ‘Golden Glory’: desarrollo y producción

Juan Manuel Soto Parra¹
María Antonia Flores-Cordova^{1§}
Esteban Sánchez Chávez²
Ramona Pérez Leal¹
Francisco Javier Piña Ramírez¹

¹Facultad de Ciencias Agrotecnológicas-Universidad Autónoma de Chihuahua. Av. Escorza Núm. 900, Chihuahua, México. CP. 31200. (jmsotoparra@gmail.com; perezleal@hotmail.com). ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC de Delicias. Av. Cuarta Sur Núm. 3820, Fraccionamiento Vencedores del Desierto, Delicias, Chihuahua, México. CP. 33089. (esteban@ciad.mx).

§Autora para correspondencia: mariflor.556@hotmail.com.

Resumen

El manzano (*Malus domestica* Borkh) es un frutal de zona templada que requiere la aplicación de promotores de brotación. El objetivo de esta investigación fue estudiar la eficiencia de los compensadores de frío: Erger, nitrato de potasio, Thidiazurón (Revent), BroStart, Tecno Oil 100 EW y peróxido de hidrógeno, en la variedad Golden Glory/MM 111, los árboles fueron plantados en 2009 a 4 m entre calles y 2 m entre árboles, (1 250 árboles ha⁻¹), se utilizó un arreglo factorial 5⁶ acotado a 25 tratamientos con diferentes concentraciones mediante una estructura Taguchi L25 generados mediante el paquete estadístico Minitab 16.1.0.0, en tanto que el análisis estadístico fue mediante superficie de respuesta ponderando el efecto de los factores para seleccionar aquellos con mejor efecto en el conjunto de producción y desarrollo. Las variables evaluadas fueron: crecimiento vegetativo, densidad de nudos, brotación de ramas de uno y dos años y producción. Los resultados obtenidos, indican que los tratamientos con Revent, nitrato de potasio y aceite Tecno Oil 100 EW presentaron un efecto positivo en las variables de crecimiento vegetativo y producción, éste último favoreció el incremento con 90.7%. En densidad de nudos, Erger presentó el mejor efecto y en brotación de ramas de un año fue BroStart en sinergia con Revent y Erger. Finalmente se concluye que los compensadores evaluados mostraron ser una alternativa en rompimiento de dormancia manzana ‘Golden Glory’.

Palabras clave: BroStart, Erger, nitrato de potasio, peróxido de hidrógeno, rendimiento, Tecno Oil 100 EW.

Recibido: diciembre de 2019

Aceptado: febrero de 2020

Introducción

El manzano (*Malus domestica* Borkh) se cultiva en todas partes del mundo. México se encuentra dentro de los primeros veinte países productores de manzana, con una producción total de 659 mil 451 toneladas y un valor de 7 mil 779 millones de pesos, en una superficie cosechada de 60 mil 328 hectáreas, aportando Chihuahua 86.4% del volumen nacional para 2018 (SIAP-SIACON-NG, 2019). El manzano es un frutal caducifolio de clima templado, que requiere cierta cantidad de frío invernal para superar su letargo, condición fisiológica que ocurre anualmente para sobrevivir a inviernos fríos (Petri y Leite, 2010; Seif El-Yazal *et al.*, 2012).

Sin embargo, es difícil determinar la cantidad precisa de frío que se requiere para salir del letargo (Carvajal-Millan *et al.*, 2000). Dicha deficiencia de frío incide en una brotación tardía en yemas terminales, una floración pobre e irregular, gran cantidad de yemas sin brotar, poco amarre de fruto, baja producción y de mala calidad, así como un mayor riesgo de tizón de fuego (Quintana, 2006). Una estrategia de gestión para disminuir los problemas de insuficiente enfriamiento es la aplicación de compensadores de frío.

Entre los compensadores que se mencionan en la literatura y que se han aplicado son: aceites minerales, dormex (cianamida hidrogenada), aminoburts, semitrol, break thru, Tecno Oil 100EW, nitrato de calcio, revent, nitrato de potasio, promalin, biozyme, thidiazuron (TDZ) y erger. El aceite mineral fue el primer promotor de brotación usado de manera comercial; es un aceite insecticida de invierno, de bajo residuo no sulfonado y alto nivel de compuestos insaturados. Aplicado en combinación con el dinitro orto cresol (DNOC) sobre las yemas produce un efecto anaeróbico; ya que un bajo nivel de oxígeno causa brotación de yemas, debido probablemente a la acumulación de compuestos anaeróbicos como el etanol y el acetaldehído (Quintana, 2006).

De acuerdo a Mohamed *et al.* (2018) el aceite mineral (DNOC), es el tratamiento de descanso más útil para la manzana, el cual se ha utilizado eficazmente para complementar la temperatura fría, y lograr un rompimiento satisfactorio de la yema, mejorando el cultivo, debido a que pueden diseminarse dentro de la planta. Cabe mencionar, que las aplicaciones de este producto a finales de los 70's del siglo pasado no se utilizan en México. Sin embargo, se están volviendo a retomar. Nañez (2013) menciona que el Tecno Oil 100 EW, es un aceite emulsificante que permanece en la planta el tiempo suficiente, producto que se demanda en zonas manzaneras de Chihuahua.

Thidiazurón presenta actividad citocinínica capaz de estimular la brotación, debido a que actúa como precursor en la formación de citocininas ejerciendo un efecto directo en el sitio de acción de las hormonas promotoras del crecimiento (Talamini *et al.*, 2002). La cianamida tiende a ser muy tóxica al humano, sugiriendo utilizar promotores con la misma eficiencia, pero con menos riesgo de toxicidad. Otro producto como el dinitro orto sec butil fenol (DNOSBP) dejó de usarse en los 80's y fue sustituido por Erger, Syncro y Vorax mezclados con nitrato de calcio o aceite mineral, los cuales mostraron efectos sobre brotación axilar y terminal en manzano (Petri *et al.*, 2014).

Erger trabaja sobre la fisiología de las yemas aportando nutrientes a los tejidos dormantes, produciendo un cambio en el equilibrio de promotores/inhibidores del crecimiento, desarrolla una señal de inicio de actividad metabólica que conduce a la brotación de yemas (Hawerth *et al.*, 2010). A pesar, de la gran cantidad de sustancias efectivas para inducir la brotación, pocas son

aceptadas debido a la toxicidad que generan en las plantas y al medio ambiente, así como, un alto costo. Por lo tanto, la identificación de nuevos compuestos más eficaces para romper la latencia y que replacen de manera adecuada, a los productos tóxicos como la cianamida que es catalogada como el compuesto químico más potente en la brotación. Siendo relevante hoy en día, sin perder la eficiencia y seguridad para el hombre y las plantas.

Tomando en cuenta lo antes descrito, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de alternativas de compensadores de frío: Erger, nitrato de potasio (KNO_3), Revent, BroStart, Tecno Oil 100 EW y peróxido de hidrógeno, en la variedad de manzano Golden Glory sobre desarrollo y producción.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó durante el ciclo de desarrollo del cultivo en el año 2015, en la huerta 'La Semilla' de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, en árboles 'Golden Glory'/MM111 plantados en 2009 a una distancia de 4*2 m (1 250 árboles por hectárea). Las propiedades del suelo en el sitio experimental bajo estudio corresponden a un pH de 6.28, conductividad eléctrica de 0.14 dS m^{-1} , materia orgánica 0.94%, CIC $7.39 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$, nitrógeno orgánico 10.7 mg kg^{-1} , P 34.9 mg kg^{-1} , K 268.2 mg kg^{-1} , Ca $1362.6 \text{ mg kg}^{-1}$, Mg 246.8 mg kg^{-1} , S 10.9 mg kg^{-1} , Fe 17.2 mg kg^{-1} , Mn 25.8 mg kg^{-1} , Zn 0.4 mg kg^{-1} , Cu 0.4 mg kg^{-1} , Bo 1 mg kg^{-1} .

Se utilizó un arreglo factorial 5^6 acotado a 25 tratamientos generados mediante el paquete estadístico Minitab 16.1.0.0, se utilizaron 5 repeticiones por tratamiento, por lo que el número de árboles empleado fue de 125 unidades experimentales (cada unidad experimental constó de un árbol). La fecha de aplicación fue el 07 de marzo de 2015, los compensadores de frío y concentraciones utilizadas se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Factores y niveles utilizados como compensadores de frío.

	Factores					
	Erger	Nitrato de potasio	Thidiazuron (Revent)	BroStart	Tecno Oil 100 EW	Peróxido de hidrógeno
Niveles (%)	0	0	0	0	0	0
	0.4	1	0.025	0.75	0.5	1
	0.8	2	0.05	1.5	1	2
	1.2	3	0.075	2.25	1.5	3
	2.4	6	0.15	4.5	3	6
Media simple ^w	1.2	3	0.075	2.25	1.5	3

Erger, nitrógeno 15%, calcio 4.7% densidad 1.14 g cc pH 5.9; nitrato de potasio, 13% nitrógeno, 45% K_2O ; Thidiazurón, N-Fenil-N'-1, 2, 3 tiadazol-5-il-urea 42.4%; Brostart, 8% nitrógeno, 11% calcio, ácidos carboxi[®] 0.5%; Tecno Oil 100 EW aceite emulsionado importado, plaguicida y compensador de frío, residuos no sulfonables pH 6-8, peróxido de hidrógeno 50% H_2O_2 . ^w= la superficie de respuesta máxima o mínima se obtiene de la media simple.

El marco de tratamientos del experimento factorial Taguchi L25 fueron de cinco repeticiones, en donde la unidad experimental fue un árbol con 125 unidades experimentales en total, los tratamientos se muestran en el Cuadro 2 y fueron aplicados el 07 de marzo del 2015.

Cuadro 2. Distribución de tratamientos experimento factorial Taguchi L25.

Tratamiento	Compensadores de frío (%)					
	Erger	Nitrato de potasio	Thidiazurón (Revent)	BroStart	Tecno Oil 100 EW	Peróxido de hidrógeno
1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0.025	0.75	0.5	1
3	0	2	0.05	1.5	1	2
4	0	3	0.075	2.25	1.5	3
5	0	6	0.15	4.5	3	6
6	0.4	0	0.025	1.5	1.5	6
7	0.4	1	0.05	2.25	3	0
8	0.4	2	0.075	4.5	0	1
9	0.4	3	0.15	0	0.5	2
10	0.4	6	0	0.75	1	3
11	0.8	0	0.05	4.5	0.5	3
12	0.8	1	0.075	0	1	6
13	0.8	2	0.15	0.75	1.5	0
14	0.8	3	0	1.5	3	1
15	0.8	6	0.025	2.25	0	2
16	1.2	0	0.075	0.75	3	2
17	1.2	1	0.15	1.5	0	3
18	1.2	2	0	2.25	0.5	6
19	1.2	3	0.025	4.5	1	0
20	1.2	6	0.05	0	1.5	1
21	2.4	0	0.15	2.25	1	1
22	2.4	1	0	4.5	1.5	2
23	2.4	2	0.025	0	3	3
24	2.4	3	0.05	0.75	0	6
25	2.4	6	0.075	1.5	0.5	0

Las unidades frío (UF) calculadas de acuerdo al método de Richardson *et al.* (1974) acumuladas en la estación meteorológica Namiquipa Alto ‘El Terrero’ (ubicación de la huerta La Semilla) para 2015 fue de 922, el promedio de unidades frío acumuladas para esta región fue de 772 con una desviación estándar de 143 UF, la máxima acumulación durante el período 2002-2018 fue de 1036 UF para el año 2010, en tanto que el año con menor acumulación de UF fue de 549 en el año 2006, en 2015 el año de estudio se acumularon 922 UF, fue el tercer año con mayor acumulación de frío Red de Estaciones Meteorológicas de UNIFRUT (2019).

La variedad ‘Golden Glory’ fue introducida en el Noroeste del Estado de Chihuahua a mediados de 1990 del siglo pasado como una alternativa al cultivar principal ‘Golden Delicious’, ya que esta variedad es altamente susceptible al roseteado del fruto (costras en diferentes formas, intensidad y ubicación en la epidermis) lo que disminuye sustancialmente su precio de venta sino es que se

destina para uso industrial a un precio mínimo; no obstante, ‘Golden Glory’ es de alto requerimiento de frío, alrededor de 1 300 a 1 400 unidades frío, 30% a 40% más que ‘Golden Delicious’, de ahí la necesidad de utilizar compensadores de frío para lograr una brotación más temprana, uniforme y densa que asegure una producción comercialmente rentable.

Material vegetativo

Se utilizaron árboles ‘Golden Glory’ injertados sobre patrón MM 111, con una edad de 7 años al inicio de la investigación; de las hileras centrales del marco de plantación se seleccionaron 125 árboles con apariencia sana y vigor uniforme. El manejo de la huerta se realizó con un nivel tecnológico medio, con riego por microaspersión.

Variables evaluadas

De cada unidad experimental, se seleccionaron de manera aleatoria cinco ramas terciarias, mínimo de tres años de edad en las cuales se midieron los crecimientos vegetativos terminales y número de nudos (donde se origina las hojas) por crecimiento que en su conjunto constituirán la ramificación (braceo) y proporcionarán mayormente la cobertura foliar, al madurar los nudos y ocurrir la defoliación natural (inicio de endodormancia) se convertirán en yemas.

Éstas yemas al siguiente año (brotes de un año de edad) si es que brotan se transformarán en espolones vegetativos, brindillas simples y brindillas coronadas que además de contribuir a la cobertura foliar (y por lo tanto elaboración de fotosintatos) constituyen en menor grado la producción actual (brindillas coronadas) y producción futura (espolones vegetativos y brindillas simples que se transformarán respectivamente en espolones fructíferos y brindillas coronadas, respectivamente) siempre y cuando se satisfagan los requerimientos de frío invernal.

Crecimiento vegetativo

De las cinco ramas al azar mediante un fluxómetro, se midió la longitud del crecimiento vegetativo actual de cada rama, expresado en cm.

Densidad de nudos en crecimiento vegetativo

Se midió el número de nudos por crecimiento actual y con ello se obtuvo la densidad de nudos (longitud del crecimiento entre el número de nudos) y se expresó como el número de nudos por centímetro de longitud.

Brotación en ramas de un año

De las ramas seleccionadas, inmediatamente abajo del crecimiento actual y hasta la cicatriz del crecimiento del año anterior, se contabilizaron el número total de yemas, cuántas de ellas brotaron (emiten racimos de hojas espolones) y crecimientos laterales (futuras brindillas simples y brindillas coronadas) y cuantas permanecieron dormantes (sin brotar), con ello se obtuvo el porcentaje de brotación en ramas de un año de edad, cuando no hay suficiente frío solo la yema terminal (apical y dos o tres yemas laterales) brotan generalmente formando solo crecimiento vegetativos débiles y con ángulos muy cerrados, lo que a su vez dificultará la formación de yemas fructíferas, una brotación normal en ramas de un año de edad se considera debe ser alrededor de 70% o mayor.

Brotación en brotes de dos años

De la misma manera que en los brotes de un año de edad, se contabilizó el número de yemas desde la cicatriz terminal del crecimiento de un año de edad hasta la base del crecimiento de dos años, se contabilizaron el número de yemas brotadas y no brotadas y con ellos se calculó el porcentaje de brotación en ramas de dos años de edad, se considera que ésta debe de ser mayor al 50%. Cuando los requerimientos de frío no son satisfechos, entonces brotarán de una a tres yemas que origina brotes largos con baja foliación, fructificación y crecimientos verticales y de ángulos cerrados que dificultarán la inducción y diferenciación floral dando una apariencia de mechones irregulares.

Producción

En producción, cada árbol fue cosechado completamente y se obtuvo el peso correspondiente, este peso se extrapoló al número de árboles por hectárea y la producción en toneladas por hectárea fue esta.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, dada la estructura factorial Taguchi L25, se realizó un análisis de superficie de respuesta cuadrática completa, ajustando la superficie para determinar los niveles de los factores para respuesta óptima (SAS, 2015). Dicha técnica se emplea cuando cada factor es estudiado para tres o más niveles, se estima una superficie de respuesta cuadrática por regresión con el método de mínimos cuadrados (Vargas *et al.*, 1991).

El análisis de todas las variables de respuesta, finalmente se resume en el Cuadro 4, donde se especifican los factores y la media simple para cada uno de ellos (promedio entre la mínima y la máxima concentración empleada para cada factor, es precisamente a partir de este valor que se obtiene la superficie de respuesta máxima o mínima según la variable), se toman los eigenvalores resultantes expresados como porcentajes de la media, positivos o negativos según sea el caso, luego los eigenvectores se expresan con signos redondeados a partir de 0.25 o mayores, tal que $0.2501 \leq + \leq 0.3749$, $0.3750 \leq ++ \leq 0.6249$, $0.6250 \leq +++ \leq 0.8749$ $++++ > 0.875$, lo mismo sería para el caso de eigenvectores negativos.

De esta manera se pondera cuales factores son los que más están influyendo en esa variable; entonces se obtuvo la frecuencia de signos para cada eigenvalor y el total para los eigenvalores presentes, este total se multiplicó por 20%, seleccionando entonces aquellos factores cuya frecuencia sea mayor a 20% de los signos observados indistintamente positivos o negativos, posteriormente se obtuvo el total de signos positivos y negativos, generalmente los eigenvectores con signos positivos son considerablemente mayores a aquellos negativos, se seleccionaran aquellos factores y variables de respuesta de mayor peso, cuya frecuencia de signos (coeficientes de eigenvectores) sea mayor a 20%, de esta manera se obtuvieron aquellos factores y variables de mayor peso de manera general; de las factores y variables seleccionados se obtuvo la dosis máxima observada, obtenida a partir de la media simple de los niveles de los factores.

Una subsecuente discusión estará conformada por la superficie de respuesta gráfica para aquellos factores de mayor peso e interacciones entre ellos y de esta manera se calculó si los factores son independientes o bien presentan sinergismo o antagonismo y con ello se obtuvo el factor o factores más críticos para las variables respuesta consideradas.

Resultados y discusión

Los arboles de manzano, requieren de un alto porcentaje de brotación vegetativa, para desarrollar una estructura equilibrada e iniciar su etapa productiva en menos tiempo. En el Cuadro 3 se observa la superficie de respuesta máxima para la variable de crecimiento vegetativo en la cual se aprecia un rango de crecimiento de 8.7 a 50.5 cm con un incremento del 478%, incidiendo la combinación de nitrato de potasio, Revent y Tecno Oil 100EW, con un aumento de 33.3%, 10.7% y 90.7% respectivamente. Para obtener la respuesta más alta de crecimiento vegetal en 50.5% se requiere disminuir la cantidad de Erger BroStart y H₂O₂ en 1.03 1.83 de 5%, respectivamente. Dicha sinergia favorece el crecimiento vegetativo sobre el manzano 'Golden Glory'.

Cuadro 3. Superficie de respuesta máxima^U para crecimiento vegetativo actual en manzano 'Golden Glory' tratados con estimuladores de brotación 2015.

Regresión	Factores						
	Erger	Nitrato de potasio	Revent	BroStart	Tecno Oil 100 EW	Peróxido de hidrógeno	
	0.0638 ^V	0.0578	0.123	0.062	0.0395	0.7584	
Lineal (L) ^X	<0.0001 ^V	C ^X	L	L	L		
Cuadrática(C)	0.0041		Tecno Oil ^Y	Brostart			
Productos	0.0996						
Modelo	<0.0001						
		μ= 26.8		R ² = 0.4983		CV= 20.98	
cm	Error est.			(%)			
8.7	11.686	1.2	3	0.075	2.25	1.5	3
10.7	11.101	1.16	3.07	0.073	2.18	1.62	2.99
13.0	10.462	1.12	3.16	0.073	2.12	1.76	2.98
15.8	9.784	1.1	3.26	0.074	2.08	1.89	2.97
19.2	9.147	1.08	3.37	0.075	2.04	2.03	2.95
23.0	8.69	1.06	3.47	0.075	2	2.17	2.94
27.4	8.603	1.05	3.58	0.077	1.97	2.3	2.92
32.4	9.072	1.05	3.68	0.078	1.93	2.45	2.9
37.8	10.197	1.04	3.79	0.08	1.9	2.58	2.89
43.9	11.959	1.03	3.89	0.081	1.87	2.72	2.87
50.5	14.277	1.03	4	0.083	1.83	2.86	2.85
Incrementos (+) decrementos (-) con respecto a la media simple							
	+478.2	-14.2	+33.3	+10.7	-18.7	+90.7	-5.0
Análisis canónico de la superficie de respuesta							
Predicho en punto estacionario	Valores críticos decodificados						
7.2708	1.5252	2.9059	0.0771	0.9205	0.9024	0.6129	

Regresión	Factores					
	Erger	Nitrato de potasio	Revent	BroStart	Tecno Oil 100 EW	Peróxido de hidrógeno
	0.0638 ^V	0.0578	0.123	0.062	0.0395	0.7584
Eigenvalores	Eigenvectores					
27.9520	0.0339	0.3461	0.2128	-0.1423	0.9001	-0.0578
19.2201	0.649	0.4517	-0.5113	0.3162	-0.0343	-0.1098
-7.2831	0.042	-0.5525	0.0519	0.6951	0.2857	-0.3543
-18.3785	-0.0213	0.4682	0.6801	0.4882	-0.2552	0.119

^U= análisis de cordillera (Ridge). μ = media general; CV= coeficiente de variación; R^2 = coeficiente de determinación. ^V= probabilidad de $F= Pr \geq 0.05$ no significativo, significativo $0.05 \leq Pr \leq 0.01$, altamente significativo $Pr \leq 0.01$. ^X= Respuesta ($Pr > |t|$) significativa lineal (L), cuadrática (C); ^Y= productos significativos de ese factor con el resto. ^W= valores decodificados; ^Z= se seleccionan aquellos eigenvalores cuya variabilidad acumulada fue superior al 70%.

En el Cuadro 4 se observa un análisis de todas las variables de respuesta, en donde se especifican los factores y la media simple para cada uno de ellos. Se muestra que los factores que tuvieron mayor impacto en la variable de crecimiento vegetativo fueron nitrato de potasio, Brostart y Tecno Oil 100 EW, en la densidad de nudos influyeron Erger, Revent y BroStart; en brotación de ramas de un año los de mayor impacto fueron nitrato de potasio, Revent y Tecno Oil 100 EW, para brotación en ramas de dos años los de mayor influencia fueron Erger, nitrato de potasio Revent, Tecno Oil 100 EW y en producción Tecno Oil 100 EW fue el de mayor impacto. Sin embargo, los compensadores de frío que más influyeron de acuerdo a la frecuencia presentada fueron nitrato de potasio, Revent y Tecno Oil 100 EW.

Cuadro 4. Componentes de desarrollo de manzano ‘Golden Glory’ tratado con rompedores de dormancia ciclo vegetativo 2015.

	Eigenvectores						Eigenvectores	Prop. +/-
	Erger	KNO ₃	Revent	BroStart	Tecno Oil	H ₂ O ₂		
	1.2 ^T	3	0.075	2.25	1.5	3		
	Crecimiento vegetativo actual ^V $\mu= 26.8$ (8.7-50.5 cm)						Total	
+104.3 ^U		+ ^W			++++		5	5/0
+71.7	+++	++	--	+			8	6/2
-27.2		--		+++	-	-	7	3/4
-68.6		++	+++	++	-		8	7/1
Frecuencia	3	7	5	6	6	1	28 ^Y	
Dosis	1.03	4	0.083	1.83	2.86	2.85		
	Densidad de nudos $\mu= 2.2$ (2.4-1.2 nudos cm ⁻¹)							
+47.2	++		+		+++		6	6/0
+16.6			--	+++			5	3/2
-38.5	--	++	++	+			7	5/2
Frecuencia	4	2	5	4	3	0	18	
Dosis	1.2	3	0.075	2.25	1.5	3		

	(%)						Eigenvalores	
	Erger 1.2 ^T	KNO ₃ 3	Revent 0.075	BroStart 2.25	Tecno Oil 1.5	H ₂ O ₂ 3		
Brotación en ramas de un año $\mu= 86.3$ (44.9-100%)								
+51.2		+++	++	+	+	+	8	8/0
-47.1	+	++	--	+		+	7	5/2
-74.5			++		++++		6	6/0
Frecuencia	1	5	6	2	5	2	21	
Dosis	1.07	2.9	0.083	2.16	2.21	2.93		
Brotación en ramas de dos años $\mu= 71.3$ (15.2-100%)								
134.2		+++	+			++	6	6/0
-93.3	+	--	++			++	7	5/2
-107.8	+++						3	3/0
-170.5			++		++++		6	6/0
Frecuencia	4	5	5	0	4	4	22	
Dosis	1.09	2.71	0.087	2.32	2.18	2.92		
Producción $\mu= 48$ (26.8-91.2 t ha ⁻¹)								
+47.4	++		++		+++		7	7/0
+42.3	++	++	-			-	6	4/2
+28.6	-			--	+++	++	8	5/3
-45.7		+++	++	+		++	8	8/0
Frecuencia	5	5	5	3	6	5	29	
Dosis	1.19	2.22	0.1	2.84	2.73	3.57		
Resumen							Total	
Subtotal	17	24	26	15	24	12	118	118
Selección	5/2	5/3	5/3	5/2	5/4	5/1	Proporción +/-	
Prop. +/-	14/3	20/4	19/7	13/2	22/2	10/2	98 ^Z /20	
Máximo		4	0.087		2.86			

^T= media simple niveles factores; ^U= eigenvalores expresados como porcentaje de la media; ^V= rango entre paréntesis corresponde a los valores predichos, a partir de la media simple, μ = media general de la variable; ^W= cada signo corresponde a múltiplos de 0.25 redondeado al cuarto más cercano; ^Y= frecuencia observada para esa variable, se seleccionan aquellos factores $\geq 20\%$; ^Z= frecuencia total para el conjunto de variables, se seleccionan aquellos factores $\geq 20\%$ (negritas). Tipo de respuesta, L= lineal, C= cuadrática, e interacción de factores según su simbología; Respuesta para factores *= significativo ($0.05 \leq \text{probabilidad} \leq 0.01$); **= altamente significativo (probabilidad < 0.01).

En la Figura 1a, se observa la variable de crecimiento actual en donde se muestra la interacción de nitrato de potasio con Tecno Oil 100 EW, la cual presentó un aumento de 33.3%. En relación a la respuesta cuadrática Figura 1b, aun cuando el crecimiento vegetativo disminuyó conforme se incrementó la concentración de Tecno Oil 100 EW, el rango observado de 30 a 24.5 cm a partir, del cual se observó una inflexión que retoma el crecimiento sin alcanzar de partida, se puede considerar apropiado para promover una razonable formación de nudos (generalmente de 20 a 30

cm) a partir de la cual emergen las hojas que contribuyen al vigor de la planta y mantenimiento (elaboración de fotosintatos) de la cosecha actual, formación de yemas para el siguiente año que a su vez redundarán en el tercer ciclo en espolones vegetativos y fructíferos.

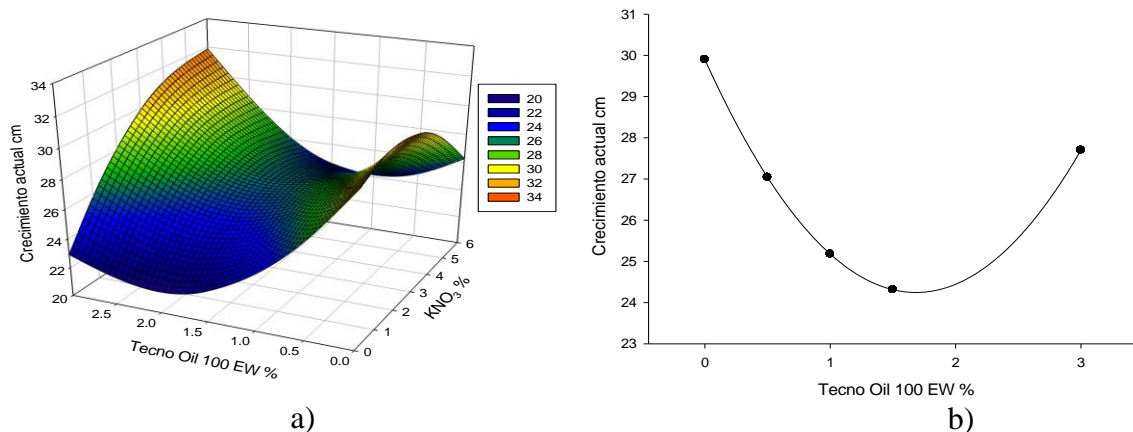


Figura 1. Influencia de las curvas de respuesta que muestran las interacciones para la variable de crecimiento actual; a) interacción de Tecno Oil 100 EW y KNO₃; y b) respuesta cuadrática del Tecno Oil 100 EW en crecimiento actual.

Un crecimiento vegetativo óptimo, asegura la preponderancia del ciclo productivo en tanto se continúe con el uso de rompedores de dormancia, de no hacerlo, podría resultar en crecimiento vegetativos mayores a los aquí observados que acrecienta la dominancia apical en menoscabo de brotación de yemas en brotes del segundo y tercer año. Concordando con lo que menciona Medina-García *et al.* (2011) que de no aplicar compensadores de frío se retrasaría la brotación y se afectaría la fenología del cultivo.

Algunos han realizado estudios con compensadores de frío como es el caso de Pineda (2005), quien utilizó aceite Tecno Oil 90 en manzano, y obtuvieron 26.2% en brotación, siendo uno de los más importantes tratamientos aplicados. El uso de aceites ha resurgido en el interés de la horticultura, en el periodo latente sobre todo en manzano. Los aceites al ser aplicados sobre las yemas producen un efecto anaeróbico; un bajo nivel de oxígeno causa brotación de yemas, debido probablemente a la acumulación de compuestos anaeróbicos como el etanol y el acetaldehído (Quintana, 2006).

Asimismo, Maldonado (1997), refiere que el Thidiazurón (Revent) presenta un buen comportamiento de la brotación vegetativa en manzano, debido al efecto similar de la hormona vegetal citocinina, ya que estimula la división celular y activa las rutas metabólicas para la producción de energía. Comparando a lo obtenido en este estudio Revent (Thidiazurón) tuvo efecto positivo, ya que el aceite acentúa el efecto del Thidiazurón (Quintana, 2006).

Brotación de yemas de un año

En la Figura 2a, se observa la interacción entre Tecno Oil 100 EW y Revent con un aumento en la brotación de un año de 92%, presentando un efecto sinérgico con diferente modo de acción, sobre la permeabilidad de las escamas de las yemas. Asimismo, en la Figura 2b Tecno oil 100 EW presenta una respuesta cuadrática donde el punto máximo fue 90% con una aplicación de 3%

de Tecno oil. Estos datos concuerdan con Campoy *et al.* (2010) quienes mencionan que la aplicación con thidiazuron y aceite de invierno lograron que floreciera significativamente más temprano y más uniforme.

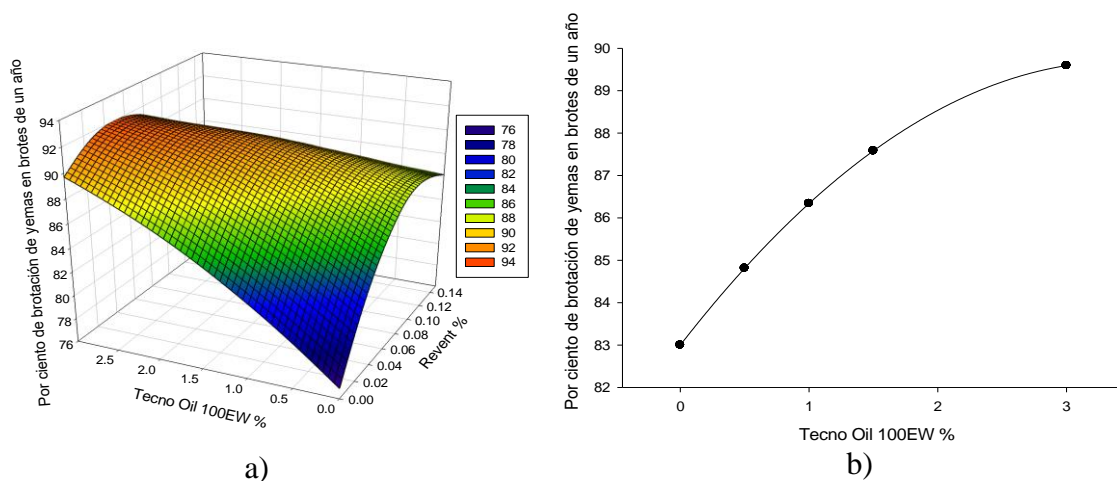


Figura 2. Influencia de las curvas de respuesta que muestran las interacciones para la variable de brotación de yemas de un año; a) interacción de Tecno oil 100 EW y Revent; y b) respuesta cuadrática del Tecno Oil 100 EW en brotación de un año.

Promover la brotación solo tendrá el resultado esperado si la aplicación se realiza cuando las membranas celulares se encuentren en un estado receptivo a la presencia de hormonas exógenas; esto ocurre una vez que la permeabilidad de las membranas y la comunicación entre la yema y los tejidos subyacentes se ha establecido, esto es, durante el último estadio de la fase endodormante y durante el período ecodormante (Llamas *et al.*, 2002). Después de haber recibido 1.281 horas frío, podemos deducir que las yemas se encontraban en un estado sensible a la aplicación de los promotores de brotación y en un período de tiempo previo suficiente para una brotación uniforme y compacta, que dio inicio 20 días después de las aplicaciones.

Brotación de yemas de dos años

Los resultados obtenidos para brotación de yemas de dos años se observan en la Figura 3a con una interacción entre Tecno Oil 100 EW y nitrato de potasio, los cuales presentaron un mayor incremento en esta variable del 80%. De la misma manera, en la Figura 3b Tecno Oil 100 EW presenta una respuesta cuadrática con un punto máximo de 77% y una aplicación de 3% de Tecno Oil 100 EW. En un artículo publicado por INTAGRI (2017), mencionan que el nitrato de potasio actúa sobre la brotación con un efecto más ligero, mismo que puede ser combinado con aceite mineral en una concentración de 5%.

Por su parte Nutrecolgy (2003), menciona que Erger trabaja sobre la fisiología de las yemas aportando nutrientes a los tejidos dormantes, que produce un cambio en el equilibrio promotores/inhibidores del crecimiento, para desarrollar una señal de inicio de actividad metabólica que conduce a la brotación de yemas. Se ha investigado que la aplicación de KNO_3 puede reemplazar parcialmente el requisito de enfriamiento, aumentando el número de flores e inflorescencias debido a que aumenta la cantidad de solutos dentro de las células del árbol desencadenando la expansión celular a través del cambio de potencial osmótico haciendo que el árbol florezca causando el desequilibrio hormonal requerido (Khayat *et al.*, 2010).

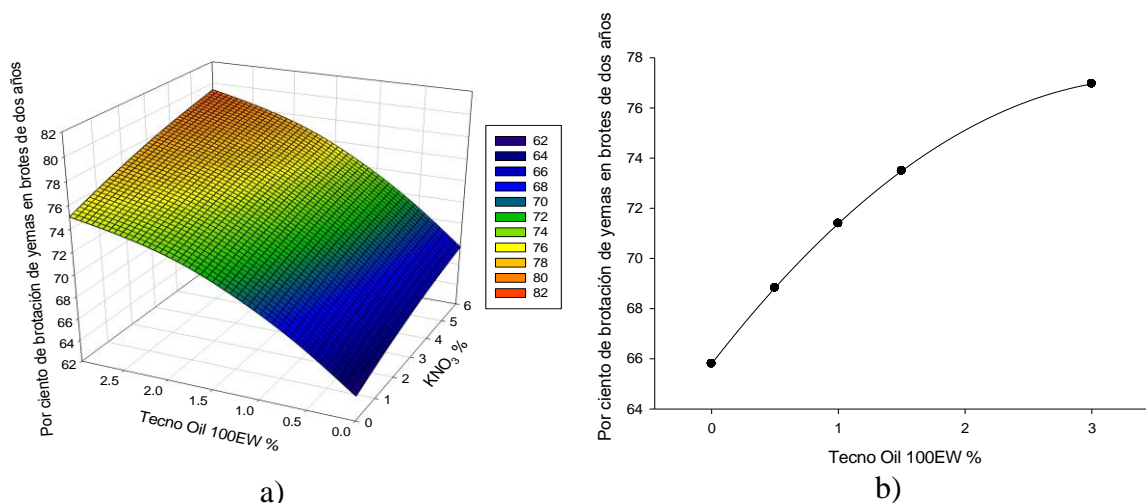


Figura 3. Influencia de las curvas de respuesta que muestran las interacciones para la variable de brotación de yemas de dos años; a) interacción de Tecno Oil 100 EW y KNO₃; y b) respuesta cuadrática del Tecno Oil 100 EW en brotación de yemas de dos años.

Producción

En relación a los resultados obtenidos en producción, en la Figura 4 se muestra la respuesta de tipo cuadrática en donde se logra un óptimo con el rango explorado para Revent con la producción más alta (49.5 t ha⁻¹) al utilizar 800 mililitros por 1 000 L agua, punto donde se registró una inflexión a partir de la cual disminuyó el rendimiento; cabe mencionar, que cuando la dosis sobrepasó el punto de inflexión se observó un tipo de rosetado de las hojas sin que estas logren extenderse completamente, así mismo, los pétalos de las flores no abrieron completamente (precisamente apariencia de flores de rosa) y en cosecha el fruto presentó una apertura más grande que lo normal en la zona del cáliz con una apariencia atípica para esta variedad.

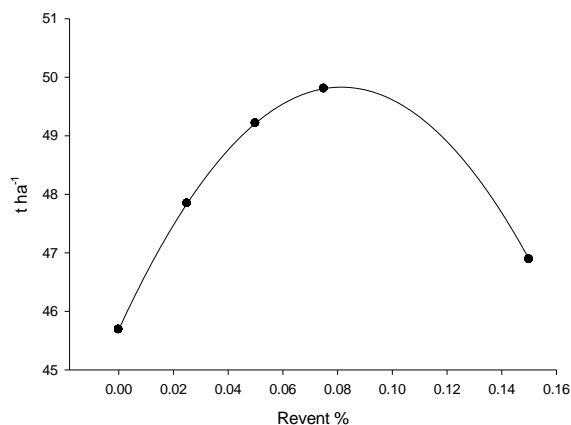


Figura 4. Respuesta cuadrática del Tecno Oil 100 EW en la variable de producción.

Petri *et al.* (2014), probaron Erger, Synchron y Vorax mezclados con nitrato de calcio y aceite mineral y obtuvieron un eficaz efecto con un rendimiento mayor, a diferencia del control, indicando que con el aumento de la productividad el fruto tenía un peso promedio de 11%, haciendo énfasis en la asociación con el aceite mineral. De la misma manera Seif El-Yazal *et al.* (2011) utilizaron

aceite mineral al 6% y nitrato de potasio al 8% obteniendo un rendimiento mayor al testigo, en este estudio se utilizó nitrato de potasio al 4% y Tecno oil 100EW al 3.86%, dicho autor menciona que el efecto del aceite genera la apertura del botón debido a su efecto estimulante sobre las giberelinas naturales.

Es importante mencionar que el uso de los compensadores de frío debe ir acompañado de una serie de prácticas culturales con la finalidad de estimular la brotación de los árboles frutales e incluso su relación con el cambio climático (Ramírez *et al.*, 2011).

Conclusiones

Los compensadores de frío Revent concentración 0.087%, KNO₃ con 4% y Aceite Tecno Oil 100 EW con 2.86% de aplicación, presentaron un efecto positivo en las variables de crecimiento vegetativo y producción, siendo Tecno Oil 100 EW quien favoreció el incremento con 90.7%. En las variables de nudos de brotación de un año y dos años las interacciones de nitrato de potasio y Tecno Oil 100 EW presentaron el mayor impacto, contribuyendo al aumento de estos parámetros. Y de acuerdo con la frecuencia presentada fueron nitrato de potasio, Revent y Tecno Oil 100 EW los de mayor influencia. Por lo que en este estudio la aplicación de compensadores de frío, mostraron ser una alternativa de compensadores de frío en manzano 'Golden Glory'.

Literatura citada

- Alvarado-Raya, H.; Rodríguez-Alcazar, J. y Calderón-Zavala, G. 2000. El thidiazuron, la brotación floral y las dimensiones del ovario en ciruelo japonés (*Prunus salicina* L.) Shiro. *Agrociencia*. 34(3):321-327.
- Campoy, J. A.; Ruiz, D. and Egea, J. 2010. Effects of shading and thiadiazuron+oil treatment on dormancy breaking, blooming and fruit set in apricot in a warm-winter climate. *Scientia Hort.* 125(3):203-210.
- Carvajal, M. E.; Goycoolea, V. F.; Guerrero, P. V.; Llamas, J. R.; Chu, A.; Orozco, A. A.; Rivera, F. C. y Gardea, A. A. 2000. Caracterización calorimétrica de la brotación de yemas florales de manzano. *Agrociencia*. 34(5):543-551.
- Hawerth, F. J.; Petri, J. L.; Verenhauer L. G. and Herter, F. G. 2010. Brotacao de gemas em maceieiras imperial gala e fuji suprema pelo uso de erger e nitrato de calcio. *Rev. Bras. Fruct. Jaboticabal*. 32(2):343-350.
- INTAGRI. 2017. Los compensadores de horas frío en frutales. Serie Frutales Núm. 31. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.
- Khayat, M.; Rajaei, S.; Shayesteh, M.; Sajadnia, A. and Moradinezhad, F. 2010. Effect of potassium nitrate on breaking and dormancy in strawberry plants. *J. Plant. Nutr.* 33(11):1605-161.
- Llamas, L. J.; Carvajal-Millán, E.; Orozco, A. A. y Rascón, C. A. 2002. Respuesta metabólica y brotación de yemas de manzano por la aplicación de promotores de brotación. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(4):411-417.
- Maldonado, N. L. 1997. Evaluación del Thidiazurón como promotor de la brotación en manzano. *In: Memorias del VII Congreso Nacional de Horticultura*. Culiacán, Sin. 195 p.

- Medina-García, G.; Ruiz-Corral, J. A.; Ramírez-Legarreta, M. R. y Díaz P. G. 2011. Efecto del cambio climático en la acumulación de frío en la región manzanera de Chihuahua. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(1):251-263.
- Minitab. 2010. Minitab Inc. Rel. 16.1.0.0-DOE Creación de Diseño de Taguchi.
- Mohamed, A.; El-Yazal, S. y Mostafa, M. R. 2018. Foliar-applied mineral oil enriched hormones and phenols content and hastened breaking bud dormancy in “Astrachan” Apple trees. *Inter. J. Empirical Education Res.* 1(2):57-74.
- Nañez, S. A. 2013. Evaluación de compensadores de frío en la brotación del manzano (*Malus sylvestris*, Mill.) en la región de la sierra de Arteaga. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Antonio Narro (UAAAN). 56 p.
- Nutrecology. 2003. Erger G, directions for use. Fresno, Cal. www.nutrecology.
- Petri, J. L. y Leite, G. B. 2010. Budbreak induction in apple trees by erger and calcium nitrate application. *Acta Horticulturae.* 884(65):511-516.
- Petri, J. L.; Leite, G. B. and Couto, M. 2014. Chemical induction of budbreak: new generation products to replace hydrogen cyanamide. *Acta Hortic.* 1042:159-166.
- Pineda, R. S. 2005. Evaluación de compensadores de frío (Bulab, Blxag, Dormex, y Tecnol 90) a diferentes concentraciones en manzano Golden Delicious. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 46 p.
- Quintana, L. E. 2006. Aplicación de promotores de brotación en base a la actividad metabólica de las yemas en manzano Golden Delicious. Tesis de Maestría de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas Universidad Autónoma Chihuahua. 103 p.
- Ramírez, L. M. R.; Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Jacobo, C. J. L.; Parra, Q. R. A.; Ávila, M. M. R. y Amado A. J. P. 2011. Perspectivas del sistema de producción de manzano en Chihuahua, ante el cambio climático. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(1):265-279.
- Richardson, E. A.; Seeley, S. D. and Walker, D. R. 1974. A model for estimating the completion of rest for ‘Red Haven’ and ‘Elberta’ Peach Trees. *HortSci.* 9(4):331-332.
- SAS. 2015. SAS/STAT users guide: Statics, SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
- Seif El-Yazal, M. A.; Rady, M. M. and Seif, S. A. 2012. Foliar applied dormancy-breaking chemicals change the content of nitrogenous compounds in the buds of apple (*Malus sylvestris* Mill. cv. Anna) trees. *The J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 87(4):299-304.
- Seif El-Yazal, M. A.; Seif El-Yazal, S. A. and Rady, M. M. 2011. Exogenous dormancy-breaking substances positively change endogenous phytohormones and amino acids during dormancy release in “Ana” apple trees. *Plant Growth Regul.* 72(3):211-220.
- SIAP-SIACON-NG. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta-Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Talamini, D. A. C.; Ernani, P. R.; Bassay, B. L. E. and Megguer, C. A. 2002. Thidiazuron effects on shoot growth, return Bloom, fruit set and nutrition of apples. *Pesq. Agropec. Bras. Brasilia.* 37(10):1365-1371.
- UNIFRUT. 2019. Unión Agrícola Regional de Fruticultores del Estado de Chihuahua Red de Estaciones Meteorológicas. Comparativo de horas y unidades frío por estación 2002-2018.
- Vargas, H. M.; Zarate, D. L. G. P. y Burguete, H. F. 1991. Factoriales fraccionados y superficie de respuesta, uso de paquetes estadísticos para microcomputadoras. *Monografías y manuales de estadística y cómputo.* 10(1):79-88.