Rev. Fitot. Mex. Vol. 17:186-193. 1994

RESPUESTA DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica* Mill) A LA INYECCION DE AGROQUIMICOS, DAÑOS POR HELADAS Y PODA DE RAIZ

RESPONSE OF *Opuntia ficus-indica* MILL. TO THE INJECTION OF CHEMICALS, FROST INJURY AND ROOT PRUNING

Guillermo Aguilar Becerril[1]

RESUMEN

Con el objetivo de inducir brotación de yemas en nopal (*Opuntia ficus-indica* Mill), se inyectaron los cladodios con soluciones al 0.1% de los siguientes compuestos: ethrel, ácido málico, KNO_3, CO_2, también se inyectó agua destilada y se podaron raíces, además se incluyó un testigo. Estos tratamientos se aplicaron en cladodios de más de 6 meses. Los niveles de clorofila a y b fueron afectados por la inyección de los compuestos; el KNO_3 promovió mayores concentraciones de las dos clorofilas (5% de clorofila a y 4% de clorofila b); el ethrel redujo también los niveles de clorofila a (13%), y de clorofila b (12.9%); el ácido málico incrementó la presencia de brotes florales pero disminuyó la cantidad de brotes vegetativos en cladodio; ethrel acortó el tiempo para la brotación de yemas florales casi 9 semanas respecto al testigo; el nitrato de potasio promovió mayor número de yemas vegetativas pero no formó yemas florales; la poda de raíces promovió brotación de yemas florales y vegetativas; ni CO_2 ni el agua destilada tuvieron efectos significativos.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Clorofila, yemas vegetativas y florales, inyección de sustancias químicas.

SUMMARY

With the aim of inducing floral budbreak, seven treatments were applied in a non producing prickly pear orchard: 1) ethrel 0.1%, 2) malic acid 0.1%, 3) KNO_3 0.1%, and 4) CO_2 0.1%. In all cases, aqueous solutions were injected in cladodes of more than six months old, 5) root pruning 6) injected water and 7) control. The results observed were: the levels chlorophyll a and b were increased by KNO_3 (5% and 4%, respectively); ethrel also reduced chlorophylls a and b by 13 and 12.9% respectively; malic acid increased the number of floral buds per cladode, but significantly decreased the number of young succulent stems. Ethrel reduced days to floral budbreak almost 9 weeks compared with the control; KNO_3 promoted vegetative, but not flower budbreak; root pruning promoted vegetative and flower budbreak; while CO_2 and water did not have significative effects.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Chlorophyll, floral and vegetative buds, agrochemical injection.

INTRODUCCION

En México la superficie cultivada de nopal tunero y de verdura es de 90000 ha (Flores, 1992), con una tendencia de incrementar la extensión de este cultivo a nivel mundial (Nerd *et al.*, 1989). Hay gran cantidad de información sobre el establecimiento y manejo de las plantaciones (Cruz, 1982; Granados y Castañeda, 1992; Barbera, 1984; Vessel, 1988), pero en las zonas productoras los cultivadores han expresado su interés por obtener fruta en épocas más tempranas, debido a los altos precios que adquiere el producto en el mercado (Nerd *et al.*, 1989; Esquivel, 1992). Por lo que es necesario afrontar este problema, a través de la investigación de los efectos de factores exógenos en la brotación de yemas florales de cladodios de nopal.

[1] Colegio de Postgraduados. CP 56200, Montecillo, México.

Fecha de recepción: 28 de mayo de 1994

Los objetivos del presente trabajos son cuantificar el efecto de inyección de algunas sustancias en solución a los cladodios de nopal, así como de la poda de raíces, sobre los niveles de clorofila y la brotación de yemas florales y vegetativas, al igual que cuantificar los cambios de clorofila que sufren los cladodios en las cuatro estaciones del año.

REVISION DE LITERATURA

El tiempo requerido para la diferenciación de las partes florales y los gametofitos en nopal tunero, es relativamente corto, comparado con especies frutales de clima templado que requieren de 7 a 8 meses para diferenciar la flor; la diferenciación rápida de las partes florales en nopal es semejante a la de especies frutales que se cultivan en climas tropicales y subtropicales (Pimienta *et al.*, 1985). Los datos concernientes a la producción de yemas florales en nopal son muy escasos (Gibson y Nobel, 1986). Recientemente Nerd *et al.* (1989, 1991) demostraron que la fertilización de NPK durante el invierno, incrementa la producción de yemas florales en primavera, Aguilar (1991) describe seis etapas de desarrollo de los cladodios de nopal; etapa I (de 0 a 4 cm de largo), etapa II (de 4 a 6 cm de largo), etapa III (de 16 a 20 cm de largo), etapa IV (de 20 a 30 cm de largo), etapa V (de 30 a 35 cm de largo) y etapa VI (de más de 35 cm de largo). El encontró que modificando los niveles de clorofila durante la etapa VI mediante cubrimiento de cladodios con bolsas de polietileno negro, cuando los cladodios tienen más de seis meses y presentan bajo nivel de crecimiento en longitud y anchura, pero muestran buen crecimiento en grosor, se promueve la brotación de yemas florales, lo mismo acontece efectuando anillado (Aguilar, 1993).

Existen experiencias en otras especies frutales como algunos investigadores lo señalan, donde los tratamientos con $KN0_3$ y ethrel promueven la brotación de yemas florales (Mosqueda y Avila, 1985; Weaver, 1976).

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en la localidad de San Diego Texcoco México, en los años 1993 y 1994. En un suelo migajón arenoso, con una precipitación de 600 mm. Se escogieron plantas que no habían producido yemas florales de 2 años de edad a una densidad de 5000 plantas por ha de la especie *Opuntia ficus-indica* Mill. La plantación fue fertilizada con 75 ton/ha de estiércol de bovino en 1991 repitiéndose la aplicación en 1992. Se empleó un diseño completamente al azar donde se estudiaron 7 tratamientos con 5 repeticiones, la unidad experimental fue un cladodio en estado de desarrollo VI (de más de 35 cm de largo, más de 17.5 cm de ancho y más de 3.1 de grosor). Los tratamientos fueron: inyección de 10 ml de solución al 0.1% de los siguientes compuestos: 1) ácido málico a cladodios en etapa de desarrollo VI; 2) ethrel; 3) KNO_3; 4) CO_2 la solución se preparó disolviendo hielo seco en agua destilada; 5) agua destilada; 6) corte de 25% de las raíces de la planta; para efectuar la poda se procedió a separar la tierra alrededor de las plantas hasta descubrir las raíces principales, de las cuales se cortaron la cuarta parte, y 7) testigo. Las inyecciones se efectuaron con una jeringa plástica de 10 ml de capacidad de la marca plastipak, usando una aguja del diámetro más pequeño (22) con la finalidad de disminuir el daño del cladodio al mínimo. El experimento se inició el 5 de marzo de 1993 con las primeras determinaciones de niveles de clorofila a y b en los tejidos de clorénquima con parénquima y concluyó el 10 de marzo de 1994. Las variables registradas fueron: a) niveles de clorofila a y b de acuerdo a la técnica descrita por Bruinsma (1961), que consistió en tomar aproximada-

mente 200 mg de peso fresco de tejido, se adicionaron 5 ml de acetona al 80%, se maceró y se centrifugó a 2000 rpm por 4 min, el sobrenadante se llevó 10 ml con acetona al 80%, se efectuaron lecturas en el espectrofotómetro a 663 y 645 nm, la concentración de las clorofilas a y b se calcularon partiendo de las siguientes fórmulas:

$$Ca = 12.7\ A\ (a\ 663) - 2.7\ A\ (a\ 645)$$
$$Cb = 22.9\ A\ (a\ 645) - 4.7\ A\ (a\ 663)$$

b) presencia de yemas florales, c) yemas vegetativas, d) días a brotación de yemas florales y e) días a brotación vegetativa. La determinación de los niveles de clorofila se efectuó a los 40 días después de que se realizaron las inyecciones (30 de octubre de 1993). Los cambios de las yemas se registraron como observaciones visuales de las variaciones morfológicas, a los 40 días después de la aplicación de tratamientos. Se efectuaron análisis de varianza y de separación de medias entre tratamientos. Se midieron las temperaturas que se presentaron cuando hubo heladas con un termómetro marca Brannan, presentándose un total de 6 heladas donde la temperatura estuvo a -2°C.

RESULTADOS Y DISCUSION

Niveles de clorofila

La Figura 1 muestra los niveles de clorofila a y b en los diferentes estados de desarrollo de los brotes vegetativos (valores promedio de finales de primavera, verano y principios de otoño), se puede observar que la concentración de las clorofilas se incrementa conforme avanza el estado de desarrollo del brote vegetativo. Se indica también en la figura, que los niveles de las dos clorofilas disminuye drásticamente cuando se presentan condiciones de invierno, es decir temperaturas del aire alrededor de 0°C entre las 6:00 y las 7:00 h, propiciándose que la temperatura del líquido celular "muscilago" en el tejido parénquimatoso sean muy similares a las del aire. Al comparar los niveles de clorofila se detecta severa caída, en su concentración, principalmente en los cladodios de la etapa VI de desarrollo, ya que la clorofila a disminuyó 69.6% y la clorofila b 66.41%, cuando se presentaron condiciones de invierno; la reducción de estos niveles de clorofila se pueden atribuir al estrés causado por la presencia de temperaturas de -2°C, que muy posiblemente alteraron las reacciones fotoquímicas, modificaron la integridad de las membranas de los cloroplastos con el consecuente daño al complejo clorofílico (Steponkus, 1981; Oquist, 1983). Cuando la temperatura se incrementa paulatinamente, los niveles de clorofila aumentan hasta llegar a los que se señalan en la parte superior de la figura 1.

El efecto de los tratamientos sobre el nivel de clorofila a y b en cladodios en estado de desarrollo VI, se muestra en la Figura 2. Al comparar los resultados con el testigo, se encuentra que el ethrel redujo la concentración de la clorofila a en un 13%. Por lo que respecta a la clorofila b, ésta disminuyó en un 12.9%. En cambio, el tratamiento de KNO_3 elevó la concentración de la clorofila a en 5% y de la clorofila b en 4%, confirmando lo que plantea Nobel (1983), que el suministro de N en las Cactáceas, incrementa los niveles de clorofila en los tallos.

Yemas florales y vegetativas

En el Cuadro 1 se aprecia que el tratamiento de ácido málico promovió brotación de yemas florales mientras que el testigo no produjo. En cambio la brotación vegetativa se vio reducida.

Si se compara el tratamiento de ácido málico con el del ethrel se detecta que no se presentaron diferencias en cuanto a brotes florales, pero el tratamiento de ethrel

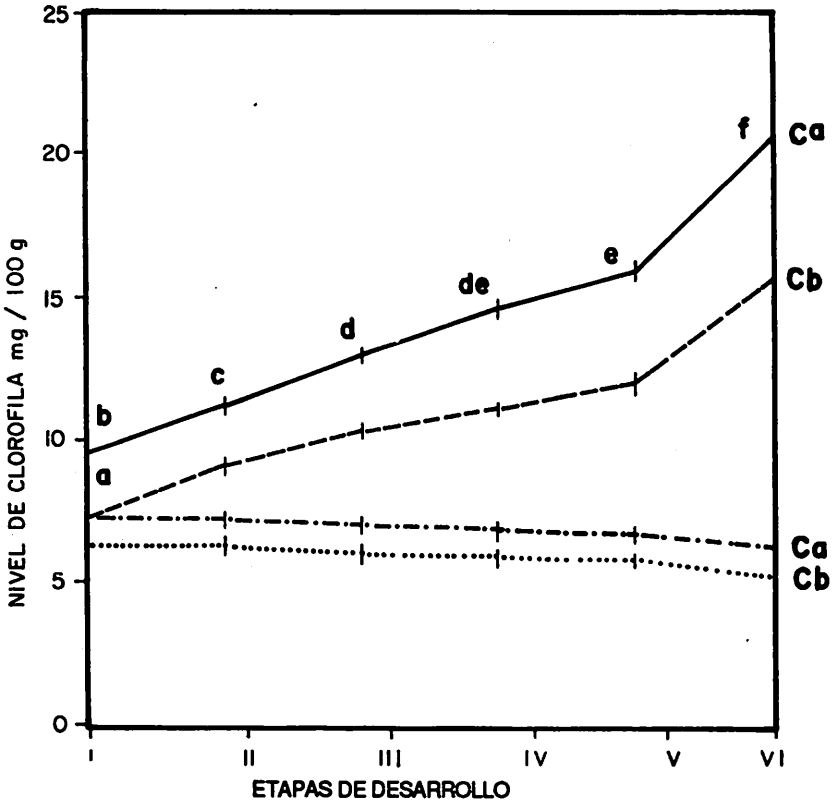


Figura 1.Cambios en los niveles de clorofila a (Ca) y b (Cb) en brotes vegetativos en diferentes etapas de desarrollo (20 a 182 días) de nopal (Opuntia ficus-indica Mill) con daño (←·–·Ca, ····Cb) y sin daño por heladas (——Ca, – – –Cb).

necesitó 47.8% menos de tiempo para la brotación de yemas florales que la aplicación ácido málico, situación muy deseable para mejorar los precios del fruto en el mercado (Nerd *et al.*, 1983; Esquivel, 1992), aunque hay que considerar que el problema latente son el riesgo de heladas. El corte de 25% de raíces de la planta mostró efecto similar al de ethrel y ácido málico (300% más de yemas florales y reducción de 300% de brotes vegetativos). Es posible que estos efectos sean provocados por la alteración en la absorción de los niveles de agua, que causó el corte de las raíces principales, lo que originó la formación de yemas florales, como se observó en esta misma especie en Israel al someterla a condiciones de sequía (Nerd *et al.*, 1991). Por lo que se refiere a días a brotación de yemas florales, hubo diferencias con el tratamiento de ethrel ya que necesitó 75% más de tiempo para inducir la brotación.

El KNO_3 no promovió formación de yemas florales, pero fue el compuesto que mayor cantidad de yemas vegetativas formó (50%), pero no fue significativo respecto al testigo, aunque a días a brotación vegetativa sí hubo significancia, ya que disminuyó el tiempo de la brotación en 50.8%. El incremento en la cantidad de brotes vegetativos se explica por el aumento de N que se presentó en los tejidos, como lo a reportado Nobel (1983) al suministrar N en varias Cactáceas.

En el Cuadro 2 se muestran los grados de asociación más sobresalientes entre variables estudiadas, apreciando que existe correlación entre niveles de clorofila y brotación floral.

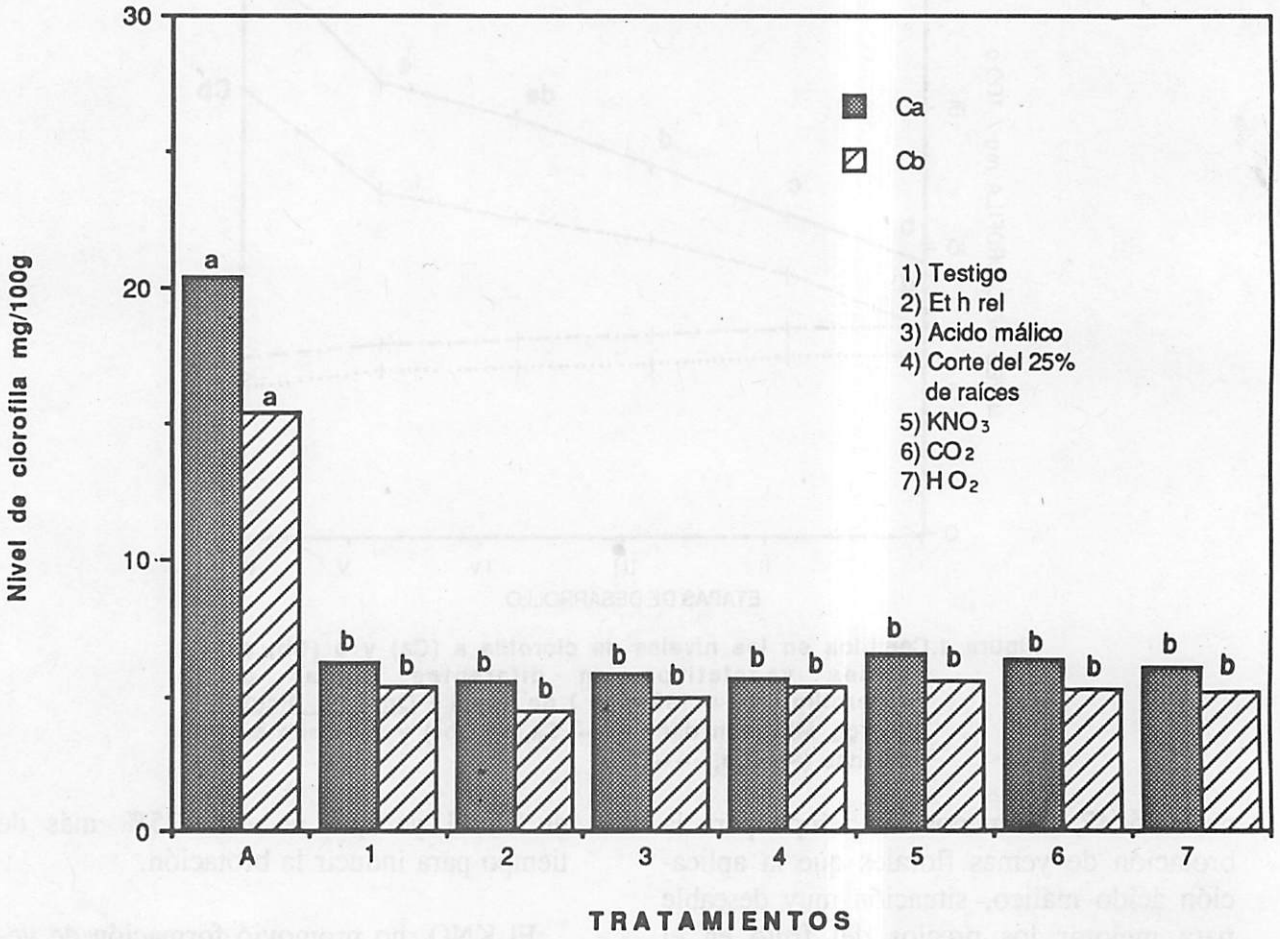


Figura 2. Niveles de clorofila a y b en brotes vegetativos de nopal en etapa de desarrollo VI cultivado en temporada no invernal A y durante el invierno en siete tratamientos (1,2,3,4,5,6 y 7).

Cuadro 1. Efecto de inyección de soluciones químicas y poda de raíces sobre la brotación en cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica* Mill)

Tratamiento	No. de brotes florales	No. de brotes vegetativos	Días a brotación floral	Días a brotación vegetativa
inyección de 10 ml de ethrel al 0.1%	4a	2bc	60b	90a
inyección de 10 ml de ácido málico al 0.1%	5a	1c	115a	115a
inyección de 10 ml de CO_2 al 0.1%	np	4ab	np	70ab
inyección de 10 ml de H_2O	np	2bc	np	110a
inyección de 10 ml de KNO_3 al 0.1%	np	6a	np	55b
corte de 25% de raíces	3a	1c	105a	110a
testigo	np	4ab	np	112a

np= no presento
Valores con la misma letra dentro de columnas indican que no son estadísticamente iguales (DMSH, P.≤ 0.05).

Cuadro 2. Coeficiente de correlación entre diversas variables en nopal (*Opuntia ficus-indica*)

	No. de brotes florales	No. de brotes vegetativos	Días a brotación floral	Días a brotación vegetativa
Nivel de clorofila	.79*	.40	.09	.08

* significativo (DMSH, P ≤ 0.05)

CONCLUSIONES

1) La inyección de ethrel tiene efecto en los niveles de clorofila, ya que redujo en 13% la clorofila a y en 12.9% la clorofila b con respecto al testigo.

2) Los niveles de clorofila a y b tienen aumentos significativos a medida que se incrementa la edad del cladodio; pero se presenta drástica caída de los niveles de las dos clorofilas por la presencia de heladas.

3) La inyección de ácido málico promovió 500% de brotación de yemas florales con respecto al testigo, pero disminuyó la brotación vegetativa en un 300%. El ethrel promovió 400% de brotación de yemas florales en comparación al testigo, y requirió 47.8% menos tiempo para la brotación de estas yemas que el ácido málico.

BIBLIOGRAFIA

Aguilar B., G. 1991. Experiencias en la producción de nopal (*Opuntia* spp) en el área de Chapingo México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Germen 10:1-19.

_____. **1993**. Comportamiento biológico del nopal (*Opuntia* spp) al anillado. Artículo en revisión revista Biotam. Universidad Autónoma de Tamaulipas. México.

Barbera, G. 1984. Ricerche sull'irrigazione del ficodindia. Riv. Frutticoltura Y Ortofloricoltura 46:49-55.

Bruinsma, I. 1961. A comment on the spectrophotometric determination of chorophyll. Biochem Biophyo. Acta 52:576-578.

Cruz H., P. 1982. Guía para cultivar nopal tunero en el estado de Puebla. INIA. México.4:1-26.

Esquivel G., D. 1992. Una alternativa para mejorar la comercialización de la tuna. Conocimiento y aprovechamiento del nopal. 5to. Congreso Nacional y 3er. Congreso Internacional. Memoria de resúmenes, 11 al 15 de agosto de 1992. Chapingo, México.

Flores V., C. 1992. Conocimiento y aprovechamiento del nopal. 5to. Congreso Nacional y 3er. Congreso Internacional. Memoria de resúmenes, 11 al 15 de agosto de 1992. Chapingo México.

Granados S., D. y A. P. Castañeda. 1991. El nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Edit. Trillas, México.

Gibson A. W. C. and P. S. Nobel. 1986. The cactus primer. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Mozqueta, V.R. y C. Avila P. 1985. Inducción floral del mango con aplicaciones de KNO_3 y su inhibición al aplicar $AgNO_3$ o $CaCl_2$. Horticultura Mexicana. 1: 93-101.

Nerd, A., A. Karadi, and Y. Mizrahi. 1989. Irrigation, fertilization and polyethylene covers in prickly pear influence bud development. HortScience 24:773-775.

_____, _____ and _____. **1991**. Out-of-season pricky pear: fruit characteristics and effect of fertilization and short droughts on productivity. HortScience 26:527-529.

Nobel, P. S. 1983. Nutrient levels in cacti-relation to nocturnal acid accumulation and growth. Amer. J. Bot. 70:1244-1253.

Oquist, G. 1983. Effects of low temperature on photosinthesis. Plant, Cell and Environ. 6:281-300.

Pimienta B., E., E. M. Engleman y P. Rosas. 1985. Algunos aspectos del ciclo reproductivo del nopal (*Opuntia* spp) tunero. En: Memorias del seminario sobre investigación genética básica en el conocimiento y evaluación de los recursos genéticos. UNAM y SOMEFI (eds.). México 96-105.

Steponkus, P. L. 1981. Responses to extreme temperatures. Cellular and subcellular bases. In: Encyclopaedia of Plant Physiology. Physiological Plant Ecology, ed. O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond, H. Zeigler. New York. Springer-Verlag: 317-402.

Vessel, A. B. 1988. Spineless prickly pears. Perskor, Johannesburg, South Africa.

Weaver, R. J. 1976. Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura. Ed. Trillas. México. pp. 210-212.