

**B.L. Gómez y M.A. Cepeda**

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ORGANOMINERAL  
SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CANOLA EN SECANO BAJO  
LABRANZA REDUCIDA EN MICHOACÁN, MÉXICO**

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **106** N.º 3 (170-183), 2010

## Efecto de la fertilización química y organomineral sobre la producción de canola en seco bajo labranza reducida en Michoacán, México

B.L. Gómez y M.A. Cepeda

INIFAP C.E. Uruapan. Avda. Latinoamericana N° 1101. Col. Revolución. C.P. 60500 Uruapan, Michoacán, México. E-mail: blucatero@prodigy.net.mx

### Resumen

En el 2006 se estableció un experimento de canola con el híbrido Hyola 401 en la región centro occidente de México, donde se evaluaron bajo labranza reducida 10 tratamientos derivados de la combinación de dos fertilizantes organominerales: Silifertidol Plus y Fosfosilidol, con las formulas de fertilización 120-60-80 y 90-45-60 de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, así como cada uno de ellos, un testigo absoluto y el testigo regional bajo labranza convencional (120-60-80). Se estudiaron las variables índice de área foliar, altura de planta, densidad de plantas, silicuas por planta, granos por silicua, peso de mil granos y rendimiento de grano. Los resultados indicaron alta significancia en la mayoría de las variables estudiadas. Las variables que mostraron influencia positiva con la aplicación del fertilizante químico + organomineral fueron el índice de área foliar, número de silicuas por planta y peso de mil granos, con incrementos hasta del 109, 126 y 10%, respectivamente; sobre el testigo bajo labranza convencional además estas variables fueron las que presentaron un efecto directo sobre el rendimiento de grano. Con la fertilización organomineral bajo labranza reducida es posible disminuir la fertilización química en un 25%, con un incremento en rendimiento de grano de 702 kg ha<sup>-1</sup> sobre el testigo regional bajo labranza convencional.

**Palabras clave:** *Brassica napus*, silicio, rendimiento.

### Summary

**Effect of the chemical and organomineral fertilization on the production of canola in dry land under tillage reduced in Michoacán, Mexico**

In the 2006 an experiment of canola was established with the hybrid Hyola 401 in the region central western Mexico, where 10 treatments derived from the combination of two fertilizer organic-minerals: Silifertidol plus and Fosfosilidol were evaluated under reduced tillage, with fertilization 120-60-80 and 90-45-60 of nitrogen, phosphorus and potassium, respectively, and as well as each of them, an absolute witness and the regional witness under conventional tillage (120-60-80). Leaf area index, height of plant, plant density, pods by plant, grains by pod, weight of thousand grains and grain yield were evaluated. The results indicated high significance in the majority of the studied variables. The variables that showed positive influence to the application of chemical fertilizer + organic-mineral fertilizer were the leaf area index, number of pods by plant and weight of thousand grains, with increases until of the 109, 126 and 10%, respectively; on the witness under conventional tillage in addition these variables were those that presented a direct influence on the grain yield. With the organo-mineral fertilization under reduced tillage it is possible to diminish the chemical fertilization in a 25%, with an increase in grain yield of 702 kg ha<sup>-1</sup> on the regional witness under conventional tillage.

**Key words:** *Brassica napus*, silicon, yield.

## Introducción

México es un país con graves problemas de erosión; 80% de su territorio muestra algún grado de erosión y en el 42% de los suelos se ha perdido de 25% a 75% de su capa superficial (Anaya, 1989). Las características topográficas y la intensidad de las lluvias que predominan en el país caracterizan un alto riesgo de erosión (Zuñiga *et al.*, 1993), especialmente en terrenos de ladera donde se pierden  $2,87 \text{ t ha}^{-1}$  al año. Turrent (1986), estimó que el 61% del área dedicada a cultivos anuales en el país se encuentra en pendientes mayores a 4%. La pérdida de suelo existe en todos los estados de la República Mexicana, donde Tlaxcala ocupa el primer lugar con una pérdida de suelo del 74%, mientras que Baja California Sur se encuentra en el último lugar con el 4,5%; Michoacán esta en el puesto 13 con una pérdida del 55% (Ramos, 2007).

En el centro noreste del estado de Michoacán se ubica la Meseta Purhépecha, constituida por 17 municipios entre los que se encuentra Nahuatzen y abarca una superficie de 481 711 has, la cual, representa el 8% de la superficie estatal. En las partes altas (hasta 3340 msnm) el clima es semifrío subhúmedo y en las partes bajas (1800 msnm) el clima es húmedo y subhúmedo, con una precipitación que va desde 1000 a 1500 mm anuales y un rango de temperaturas media de  $12^\circ \text{ C}$  a  $18^\circ \text{ C}$  (Astier, 2007).

En la Meseta Purhépecha, el 91% de los ejidos y comunidades se dedica a la agricultura de temporal y el sistema que se practica en el 80% de la superficie es el de "año y vez", en el "año" con monocultivo de maíz y en el "vez" permanece en descanso. En esta región el deterioro ecológico provocado por la agricultura tiene diversas causas: 1) manejo inadecuado de los recursos naturales: bosques degradados e incendios forestales (Lemus, 2007); 2) utilización de

labranza convencional en parcelas con pendientes del 4 al 16% (Astier, 2007), lo que ha ocasionado una erosión hídrica entre el 62 y 71%; 3) los dos aspectos anteriores han influido en la pérdida de la biodiversidad. Aunado a lo anterior, los suelos son andosoles, con pH ácido ( $\text{pH} \leq 6.0$ ) y su principal limitante química es la capacidad para fijar el fósforo en la superficie de los minerales amorfos. Los mecanismos de fijación de fósforo en la alófana e imogolita incluyen procesos como quimiadsorción, desplazamiento de silicio estructural y precipitación. La fracción humus forma fácilmente complejos con metales como el aluminio. El carbono atrapado en estos complejos es inactivo y deja de ser parte del carbono activo de la fracción orgánica. Por otro lado los grupos hidroxilo combinados con el aluminio entran en reacciones de intercambio con  $\text{HPO}_4^-$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , fijando fuertemente el fósforo aplicado (Espinoza, 2004). La suma de todos estos factores limitan la producción de los cultivos, sobre todo del maíz, obteniéndose un rendimiento medio de  $1800 \text{ kg ha}^{-1}$ , el cual no garantiza la satisfacción de las necesidades económicas del productor y su familia (Tapia *et al.*, 2002).

El uso agrícola intensivo del suelo, ha provocado también el desequilibrio de nutrientes contenidos en el suelo, dado que una parte significativa es removida por la producción de grano, el desarrollo vegetativo del cultivo y de la maleza, la lixiviación y la erosión eólica e hídrica. Cuando un suelo ya está degradado, la práctica del encalado puede resultar contraproducente, ya que causa un mayor proceso de degradación, cuando se adiciona de manera irracional el catión ( $\text{Ca}_2^+$ ), se liberan protones ( $\text{H}^+$ ), que proporcionan un suelo ácido y se libera también silicio amorfo insoluble. Para mantener la productividad y sustentabilidad de los sistemas agrícolas es importante comprender también el papel del silicio en el suelo y en el cultivo (Quero, 2006b).

En los últimos años, la labranza de conservación y el uso de fertilizantes de origen orgánico, se han promovido como una alternativa viable para contribuir a revertir la degradación de los recursos naturales (Roberts, 2002) y al cultivo de canola para ayudar a incrementar la biodiversidad. Estas actividades agrícolas se lograrán con un manejo apropiado de suelos, cultivo, nutrimentos, humedad y biomasa microbiana, tendientes a fomentar el desarrollo de una agricultura sostenible en la región (Bocco *et al.*, 2000).

La implementación de prácticas como la labranza de conservación y el manejo balanceado de la fertilidad del suelo, juegan un papel muy positivo al secuestrar carbono de la atmósfera en los cultivos para luego retenerlo en el suelo. Los resultados experimentales han mostrado las ventajas significativas de la labranza de conservación sobre la labranza convencional. Bajo condiciones de ladera y andosoles se encontró en los primeros años diferencias de 400% mayor erosión en labranza convencional comparada con labranza de conservación (Tiscareño *et al.*, 1997). En la cuenca hidrográfica de Pátzcuaro, Michoacán se midió una pérdida de nitrógeno por ciclo en el cultivo de maíz 2,5 más alta con labranza convencional que con labranza de conservación (Velásquez *et al.*, 1997). Más de cien experimentos, efectuados en el programa nacional durante cinco años, mostraron que la labranza de conservación reduce la tasa de erosión en aproximadamente 80% en el maíz y 95% en el caso de trigo comparado con labranza convencional. A medida que se continúa aplicando la labranza de conservación, la tendencia es aumentar aún más la protección del suelo (Osuna, 1997; Velásquez *et al.*, 1997).

Por otro lado, una fertilización balanceada incrementa la eficiencia del uso de nutrientes y por esta razón, existe menor probabilidad de que los nutrientes se pierdan al ambiente por lixiviación o escorrentía superficial. Sin

embargo, la fertilización es un producto con bajo margen de ganancia para los productores; además, su adquisición se limita por los altos costo y esto trae como consecuencia aplicaciones de dosis inadecuadas; lo que implica menor rendimiento y menor ganancia (Olar-te-Ortiz *et al.*, 2000). Entre los elementos nutricionales de origen mineral para las plantas se distinguen dos tipos: los macronutrientes y los micronutrientes. Aunque el silicio es un componente cuantitativo importante de las plantas superiores, este elemento no está considerado en forma general como esencial para ellas. Por lo tanto, no se incluye en cualquier formulación de solución ampliamente utilizada en los cultivos.

El silicio es el segundo elemento más abundante en la tierra con un 27,7%, después del oxígeno y es también abundante en la mayoría de los suelos (Datnoff *et al.*, 1997). En la naturaleza se encuentran formas biogeoquímicas activas de silicio como: monómeros, ortosilícico,  $H_4SiO_4$  y metasilícico,  $H_2SiO_3$ , dímeros, trímeros, polímeros, coloides, agregados coloidales y el silicio amorfo. Adicionalmente, con la acción de agentes abióticos, temperatura, lluvia y el  $CO_2$  disuelto en el agua en la forma de ácido carbónico ( $H_2CO_3/CO_2$ ), actúan sobre los minerales arcillosos y liberan el ácido silícico a una concentración de 1 a 50  $mg\ kg^{-1}$ , al mismo tiempo liberan elementos minerales, formándose silicatos de calcio, magnesio, potasio, zinc, hierro, incrementando grandemente la capacidad de intercambio catiónico de los suelos y el pH del suelo se torna básico. En estas condiciones de pH y capacidad de intercambio catiónico los suelos son altamente productivos (Quero, 2006a).

El silicio aunque no se le considera un nutriente esencial, es removido anualmente por los cultivos en cantidades de 200 a 500  $kg\ ha^{-1}$  y es utilizado por las plantas para transportar en sus tejidos, minerales y compuestos orgánicos como los azúcares, así

mismo para formar estructuras, poliméricas y cristalinas en la cutícula de las hojas, que permiten resistir estrés biótico y abiótico. Estructuras ricas en silicio que forman parte de las hojas son: fitolitos, tricomas y cadenas poliméricas presentes en las paredes celulares. Los tricomas son importantes para la liberación de compuestos con actividad fungicida e insecticida (Quero, 2006c). Por lo anterior, Marschner (1995) y Quero (2006b), menciona que este elemento controla el desarrollo del sistema radicular, la asimilación y distribución de nutrientes minerales, incrementa la resistencia de la planta al estrés abiótico (alta y baja temperatura, viento, alta concentración de sales, metales pesados y aluminio) y biótico (insectos, hongos, enfermedades).

Los niveles de silicio en el suelo se mejoran con la aplicación de compostas (ganaderas), ya que aportan de 40 a 60 kg·t de silicio, además de nitrógeno, potasio y carbono; con la aplicación de fertilizantes minerales de nueva generación como el Silifertidol y Fosfosilidol se aporta de 90 a 150 kilos de silicio por tonelada de producto, lo que supera al 4% de silicio que contienen los esquilmos agrícolas (Quero, 2006b). El Silifertidol es un fertilizante mineral compuesto por carbonato de calcio, carbonato de magnesio y bióxido de silicio; mientras que, el Fosfosilidol, además de estos compuestos contiene fósforo. Estos fertilizantes por su origen natural y dado que no son productos desarrollados químicamente son aceptados como fertilizantes orgánicos (DAMSA, 2006). Estas técnicas agrícolas apoyan la activación y degradación de las arcillas liberando silicio en la forma de ácido ortosilícico ( $H_4SiO_4$ ), manteniendo una concentración entre 20 y 40 ppm en la zona radicular, a lo largo del desarrollo del cultivo. El ácido ortosilícico será asimilado por la planta a través del sistema radicular, para satisfacer las demandas del cultivo, que en promedio son similares a las de potasio y nitrógeno, para los cultivos de arroz, caña de azúcar y papa (Quero, 2006b).

En consideración a lo anterior, los objetivos del trabajo fueron: a) Seleccionar el tratamiento de fertilizante químico y organomineral bajo labranza reducida con mejor respuesta al rendimiento de grano; b) disminuir los costos de producción e incrementar la rentabilidad del cultivo al reducir los fertilizantes químicos y c) evaluar el efecto del fertilizante químico y organomineral bajo labranza reducida sobre las propiedades químicas del suelo.

## Materiales y Métodos

El trabajo se estableció en Nahuatzen, Michoacán, México, durante el ciclo primavera-verano 2006. El sitio se ubicó entre los 19° 38' N y 101° 55' O, con una altura sobre el nivel del mar de 2388 m; el clima es templado húmedo y un suelo franco arenoso con un pH ligeramente ácido de 6,0 (Figura 1).

La siembra se realizó con el híbrido de canola "Hyola 401" el 22 de junio de 2006 bajo labranza reducida (rastreo-surcado-escarda) con la sembradora Doblense modelo OL-U2N a una densidad de 3,5 kg ha<sup>-1</sup>. La semilla fue tratada con Carbofuradan 300TS (400 ml/3,5 kg semilla) para evitar el daño de la plaga del suelo (Familia Carabidae). Se utilizaron dos fuentes de silicio el Silifertidol Plus y el Fosfosilidos, la composición de ellos se muestra en la Tabla 1 y el total de los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 2. El control de malezas se realizó a los 27 días después de la siembra con la aplicación de Paraquat (2,0 L ha<sup>-1</sup>) en forma dirigida, ya que es un herbicida total de contacto y Sethoxydim (1,5 L ha<sup>-1</sup>) que es sistémico y selectivo para hoja angosta, en forma total ya que no afecta al cultivo. La cosecha se realizó el 29 de noviembre de 2006.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones; la

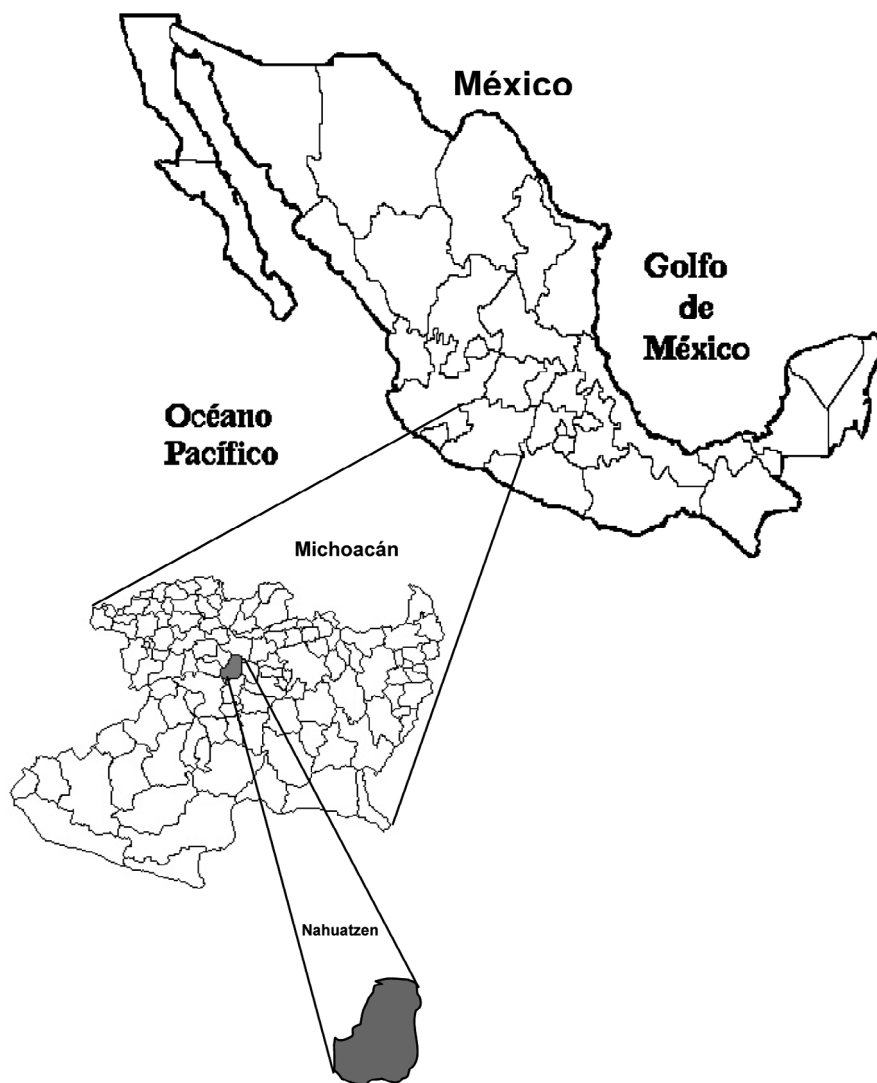


Figura 1. Ubicación del municipio de Nahuatzen en el estado de Michoacán, México.  
 Figure 1. Location of the municipality of Nahuatzen in the state of Michoacan, Mexico.

parcela experimental estuvo formada de cuatro surcos de 5,0 m de largo y 0,80 m de ancho, como parcela útil se cosecharon los dos surcos centrales.

Se tomaron datos climáticos diarios (temperatura máxima, mínima y precipitación) durante el ciclo fenológico del cultivo (22 de junio

al 29 de noviembre de 2006). Las variables evaluadas fueron: índice de área foliar (se determinó con el equipo Ceptómetro Accu-Par, modelo PAR-80), altura de planta, densidad de plantas en  $8\text{ m}^{-1}$ , número de silicuas por planta, número de granos por silicua, peso de mil granos y rendimiento de grano.

Antes de la siembra, en el terreno donde se estableció el experimento, se tomaron 6 muestras de suelo en zig zag a una profundidad de 0-25 cm y se formó una muestra compuesta, la cual se envió al laboratorio para su análisis físico-químico. Al final del ciclo se tomó una muestra por cada tratamiento y repetición a profundidad de 0-25 cm y se generó una muestra compuesta por tratamiento, la cual se envió al laboratorio para analizar las características químicas del sue-

lo mediante la técnica de espectroscopia de energía dispersiva de rayos X, con la microsonda inca<sub>x</sub>-sight modelo 7373, acoplada a microscopio electrónico de barrido.

Se realizó un análisis de varianza y las diferencias de los tratamientos se evaluaron al 5% a través de la comparación de medias de Tukey (Steel y Torrie, 1980). Además se efectuó un análisis económico para determinar la relación beneficio costo de cada uno los tratamientos.

Tabla 1. Composición química de los dos fertilizantes organominerales evaluados en canola de secano. Nahuatzen, Michoacán, México, 2006  
*Table 1. Chemical composition of the two fertilizers organomineral evaluated in canola dry land. Nahuatzen, Michoacan, Mexico, 2006*

Elemento	Cantidad (%)	
	Siliferidol Plus	Fosfosilidol
Silicio	24	31,0
Calcio	23	10,0
Magnesio	12	2,0
Hierro	5	1,8
Zinc	5	3,6
Potasio	2	2,5
Fósforo		9,0

Tabla 2. Tratamientos de fertilización evaluados en canola  
*Table 2. Fertilization treatments evaluated in canola*

No. Tratamiento	Fertilización Orgánica	Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )	Fertilización Química (NPK)
1	Silifertidol Plus	500	120-60-80
2	Silifertidol Plus	500	90-45-60
3	Silifertidol Plus	500	
4	Fosfosilidol	250	120-60-80
5	Fosfosilidol	250	90-45-60
6	Fosfosilidol	250	
7			120-60-80
8			90-45-60
9	Testigo regional		120-60-80 <sup>(1)</sup>
10	Testigo absoluto		

<sup>(1)</sup> Labranza convencional (barbecho-rastreo-surcado-escarda).

## Resultados y Discusión

El análisis físico-químico inicial indicó una textura franco-arenosa, con un pH moderadamente ácido (6,07), materia orgánica alta (2,97%), nitrógeno (8,21 ppm), y fósforo (2,31 ppm) muy bajos, potasio muy alto (701 ppm) y mediano calcio (2117 ppm).

En la Figura 2, se muestra la distribución de lluvias y temperaturas prevalecientes durante el desarrollo fenológico del cultivo de canola en el ciclo primavera-verano 2006. De acuerdo a los requerimientos climáticos, la canola necesita temperaturas entre 5 y 30 °C, ideales entre 20 y 22 °C (Thomas, 2003); en éste aspecto el desarrollo de la canola se vio favorecido, ya que desde el período vegetativo hasta el de maduración (160 días), las temperaturas máximas oscilaron

entre 21 y 26 °C, de finales de junio a noviembre, mientras que, las mínimas fluctuaron entre 8 y 14 °C; no se presentaron temperaturas superiores de 30 °C y las inferiores o iguales a 0 °C sucedieron del 22 al 26 de noviembre, casi para la cosecha, por lo tanto, ya no tuvieron efecto sobre el cultivo. Lo que causó una disminución del 5% en el rendimiento de grano, fue la tormenta con granizo ocurrida el 16 de agosto.

La precipitación acumulada en esta región fue de 1187 mm, con una distribución uniforme, lo que indica que el cultivo tuvo suficiente agua durante todos sus estados fenológicos. El requerimiento de agua en canola para su mejor rendimiento depende de la variedad, manejo del cultivo y el ambiente; su consumo puede variar entre los 450 a 550 mm durante su desarrollo. Nielsen (1996)

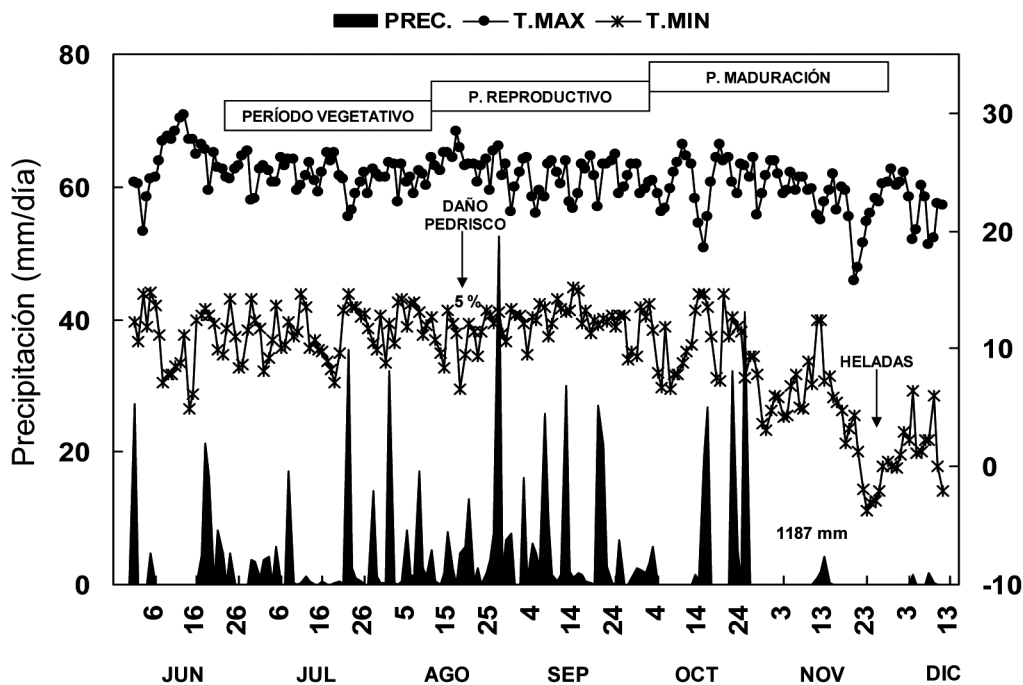


Figura 2. Condiciones climáticas prevalecientes en Nahuatzen, Mich., México. 2006.  
 Figure 2. Climatic conditions prevailing in Nahuatzen, Mich., Mexico. 2006.



mostró rendimientos de 538 y 3416 kg ha<sup>-1</sup> al consumir 249 mm y 521 mm de agua respectivamente.

En la Tabla 3, se muestran los valores medios para el índice de área foliar, altura de planta y densidad de plantas, observándose diferencias significativas para el índice de área foliar y altura de planta con coeficientes de variación aceptables entre el 6 y 28%. En el índice de área foliar el tratamiento 1, fue el mejor con un incremento del 108% sobre el testigo regional, seguido por el tratamiento 4, 5 y 8 con ganancias del 57, 52 y 43%, respectivamente sobre el testigo regional. En altura de planta, la mayor correspondió al testigo regional con 141 cm, con un incremento entre el 13 y 32% sobre todos los tratamientos. En la densidad de plantas

no hubo diferencias significativas, el testigo regional obtuvo 90 plantas en 8 m<sup>-1</sup> y solamente fue superado por los tratamientos 5 y 7, los cuales mostraron ganancias de 15 y 5 plantas, respectivamente; la densidad de plantas no es un factor que interfiera en el rendimiento de grano, debido a la plasticidad del cultivo; la reducción de 80 a 40 plantas por m<sup>-1</sup> no afecta el rendimiento, siempre que la población se distribuya de forma uniforme (Angadi *et al.*, 2003).

Esto resultados coincide parcialmente con lo reportado por Carrillo (2005), ya que al aplicar silicato de potasio en canola con una fertilización química de 100-80-00 (nitrógeno, fósforo y potasio), incrementó en 7% la biomasa aérea y en 17% la densidad de plantas, mientras que la altura de planta disminuyó en 8%.

Tabla 3. Comparación de medias para el índice de área foliar, altura de planta y densidad de población para los tratamientos evaluados en canola. Nahuatzen, Mich., 2006  
Table 3. Comparison of means for the leaf area index, height of plant and plant density for the evaluated treatments in canola. Nahuatzen, Mich., 2006

No. Tratamiento	Fertilización		Índice de Área foliar	Altura Planta (cm)	Densidad de plantas (8 m <sup>-1</sup> )
	Organo-mineral	Química			
1	SP	120-60-80	3,67 a	123 b	79
2	SP	90-45-60	2,20 bc	117 bc	81
3	SP		0,89 d	103 cd	81
4	FS	120-60-80	2,77 b	123 b	89
5	FS	90-45-60	2,52 b	118 bc	105
6	FS		0,93 d	96 d	87
7		120-60-80	2,33 bc	118 bc	95
8		90-45-60	2,68 b	118 bc	74
<b>9</b>	<b>TR</b>	<b>120-60-80</b>	<b>1,76 c</b>	<b>141 a</b>	<b>90</b>
10	TA		0,58 d	88 d	77
Media general			2,03	114	85
Coeficiente Variación (%)			13	6	28
Significancia			**	**	ns

SP = Silifertidol Plus, FS = Fosfosilidol, TR = Testigo regional (labranza convencional), TA = Testigo Absoluto.

En estos resultados, se observa que los tratamientos con mayor altura, no fueron los que obtuvieron los valores más altos de índice de área foliar, sin embargo, es más importante incrementar el índice de área foliar, debido a que la producción de materia seca depende de la actividad fotosintética y ésta de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la cubierta vegetal, la cual está en función del área foliar (Gómez, 2002).

En las variables N° de silicuas por planta, N° de granos por silicua y peso de mil granos el análisis de varianza mostró significancia para las dos primeras y la última fue no significativa. En el N° de silicuas por planta el primer grupo estuvo formado únicamente por el tratamiento 2, con un incremento del 126% sobre el testigo regional que obtuvo 314 silicuas por planta; seguido por los tra-

tamientos 8, 7, 4, 5, y 1 que mostraron ganancias entre 86 y 233 silicuas por planta sobre el testigo regional; los tratamientos con fertilizante organomineral y el testigo mostraron valores inferiores al testigo regional (Tabla 4).

Para la variable N° de granos por silicua el testigo regional se vio superado en 3% por el tratamiento 4, que presentó 33 granos por silicua; los tratamientos restantes fueron inferiores entre 1 y 6 granos por silicua con respecto al testigo regional. En el peso de mil granos, únicamente el tratamiento 10 y 4 mostraron menor peso que el testigo regional (4,1 g) y los siete tratamientos restantes fueron superiores numéricamente de 0,1 a 0,4 g (Tabla 4), estos resultados coinciden con los obtenidos por Tamago *et al.* (1999), ya que no observaron influencia de

Tabla 4. Comparación de medias para el número de silicuas por planta, número de granos por silicua y peso de mil granos para los tratamientos evaluados en canola. Nahuatzen, Mich., 2006  
Table 4. Comparison of means for the number of pods by plant, number of grains by pod and weight of thousand grains for the evaluated treatments in canola. Nahuatzen, Mich., 2006

No. Tratamiento	Fertilización		N° silicuas/planta	N° granos/silicua	Peso de mil granos (g)
	Organo-mineral	Química			
1	SP	120-60-80	400 bcd	27 bc	4,2
2	SP	90-45-60	711 a	26 c	4,2
3	SP		176 ef	26 c	4,5
4	FS	120-60-80	493 b	33 a	3,6
5	FS	90-45-60	441 bc	30 abc	4,2
6	FS		245 def	26 c	4,5
7		120-60-80	523 b	31 abc	4,2
8		90-45-60	547 ab	27 bc	4,3
<b>9</b>	<b>TR</b>	<b>120-60-80</b>	<b>314 cde</b>	<b>32 ab</b>	<b>4,1</b>
10	TA		137 f	26 c	3,8
Media general			399	28	4,2
Coeficiente Variación (%)			18	8	11
Significancia			**	**	ns

SP = Silifertidol Plus, FS = Fosfosilidol, TR = Testigo regional (labranza convencional), TA = Testigo Absoluto.

distintas dosificaciones de NPK y elementos secundarios sobre el peso de 1000 granos.

Ortegón-Morales (2007) menciona que Hyolla 401 con 30 plantas  $m^{-1}$  presenta en promedio 348 silicuas por planta (Ortegón *et al.*, 2006) y un peso de 3,04 g por 1000 semillas (Berglund, 2004), estas características se modifican principalmente por la densidad de población y las condiciones climáticas (Ozer, 2003). Entre las componentes se presentan efectos compensatorios, lo que indica que a baja densidad de plantas se obtiene mayor N° de silicuas por planta, menor N° de granos por silicua y mayor peso de 1000 granos (Ali *et al.*, 1996; Momoh y Zhou, 2001; Morrison *et al.*, 1990); estos efectos compensatorios se observaron en el tratamiento 4, ya que obtuvo el cuarto lugar en la densidad de plantas (89 plantas en  $8 m^{-1}$ ) y en el N° de silicuas por planta (493 sili-

cuas), primer lugar en el N° de granos por silicua (33 granos) y el último lugar en el peso de mil granos (3,6 g).

Las componentes de rendimiento que tuvieron una influencia directa sobre la producción de grano final fueron el N° de granos por silicua y el peso de mil granos. Estos resultados, coinciden con los que obtuvo Carrillo (2005) al aplicar silicio en canola de temporal, ya que determinó que el N° de granos por silicua fue el que tuvo un efecto directo sobre el rendimiento de grano y difieren con los obtenidos por Angadi *et al.* (2003), ya que mencionan que el número de silicuas por planta es el componente de rendimiento más importante en la producción de canola.

En la Tabla 5, se muestra la comparación de medias para el rendimiento de grano y se observó que el primer grupo estuvo conformado por los tratamientos 2, 1, 4 y 7, con

Tabla 5. Comparación de medias para rendimiento de grano, de los tratamientos evaluados en canola. Nahuatzen, Mich., México, 2006  
Table 5. Comparison of means for grain yield in canola, for the treatments evaluated in canola. Nahuatzen, Mich., Mexico, 2006

No. Tratamiento	Fertilización		Rendimiento de grano (kg ha <sup>-1</sup> )
	Organo-mineral	Química	
1	Silifertidol Plus	120-60-80	1986 a
2	Silifertidol Plus	90-45-60	1987 a
3	Silifertidol Plus		796 d
4	Fosfosilidol	120-60-80	1970 a
5	Fosfosilidol	90-45-60	1889 ab
6	Fosfosilidol		901 d
7		120-60-80	1925 a
8		90-45-60	1627 b
<b>9</b>	<b>Testigo Regional</b>	<b>120-60-80</b>	<b>1285 c</b>
10	Testigo Absoluto		742 d
Media general			1511
Coeficiente de variación (%)			8
Significancia			**

ganancias sobre el testigo regional de 702, 701, 685 y 640 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El mejor tratamiento fue la aplicación de Silifertidol Plus + 90-45-60, con un rendimiento de 1987 kg ha<sup>-1</sup>. Varios cultivos han mostrado incremento en rendimiento con la aplicación de silicio: arroz, en 1007 kg ha<sup>-1</sup> (Korndörfer *et al.*, 1998), caña de azúcar entre el 10 al 50% (Franco y Korndörfer, 1995), fresa en un 25%, (Miyake y Takahashil, 1986), tomate en 145%, pepino un 28% (Miyake y Takahashil, 1983) y canola un 12% (Carrillo, 2005).

El testigo absoluto, la aplicación de Fosfosilidol y Silifertidol Plus sin fertilizante químico mostraron una pérdida de 543, 489 y 384 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, al compararlos con el testigo regional. Estas disminuciones se presentaron debido a que la canola es un cultivo que demanda una enorme cantidad de nutrientes (Berglud *et al.*, 2007), las necesidades por cada 1000 kg de grano son

de 60 unidades de nitrógeno y 30 de fósforo (Grant y Jackson, 2000) y en los tratamientos organominerales no se aplicó nitrógeno y la cantidad de fósforo fue de 2 a 2,5 unidades; mientras que el testigo absoluto no recibió ningún nutriente.

Al realizar el análisis económico (Tabla 6), la mayor relación beneficio costo fue para el tratamiento químico 120-60-80 bajo labranza reducida, seguido del Fosfosilidol (500 kg ha<sup>-1</sup>) + 90-45-60 y el Silifertidol Plus (250 kg ha<sup>-1</sup>) + 90-45-60, con una ganancia del 63, 55 y 54% respectivamente sobre el Testigo regional.

En lo que respecta a las características químicas del suelo, en la Tabla 7 se muestra que la aplicación de 500 kg ha<sup>-1</sup> de Silifertidol Plus + 90-45-60 bajo labranza reducida incrementó la cantidad en el suelo de carbono (40%) y fósforo (24%), así mismo disminuyó la cantidad de magnesio (8%), calcio

Tabla 6. Análisis económico por cada tratamiento de fertilización evaluado en canola. Nahuatzen, Mich., 2006

Table 6. Economic analysis by each treatment of fertilization evaluated in canola. Nahuatzen, Mich., 2006

No. Trat.	Fertilización		Rend. grano kg ha <sup>-1</sup>	Valor Produc. (\$/kg)	Ingreso Bruto (\$)	Costo Cultivo (\$/ha <sup>-1</sup> )	Ingreso Neto (\$)	Relación B/C
	Organo- mineral	Química						
1	SP	120-60-80	1986	3,50	6951	5547	1404	1,25
2	SP	90-45-60	1987	3,50	6955	5083	1872	1,37
3	SP		796	3,50	2786	3615	- 829	0,77
4	FS	120-60-80	1970	3,50	6895	5275	1620	1,31
5	FS	90-45-60	1889	3,50	6612	4808	1804	1,38
6	FS		901	3,50	3154	3390	- 236	0,93
7		120-60-80	1925	3,50	6738	4647	2091	1,45
8		90-45-60	1627	3,50	5695	4183	1512	1,36
<b>9</b>	<b>TR</b>	<b>120-60-80</b>	<b>1285</b>	<b>3,50</b>	<b>4498</b>	<b>5047</b>	<b>- 549</b>	<b>0,89</b>
10	TA		742	3,50	2597	2765	- 168	0,93

SP = Silifertidol Plus, FS = Fosfosilidol, TR = Testigo regional (labranza convencional), TA = Testigo Absoluto.

Tabla 7. Análisis de los minerales del suelo en tres tratamientos evaluados en canola. Nahuatzen, Mich. 2006

Table 7. Analysis of the mineral soil in three treatments evaluated in canola. Nahuatzen, Mich. 2006

Elemento	Testigo Absoluto (%)	Testigo Regional (%)	Silifertidol Plus (%)	Silifertidol Plus + 90-45-60 (%)
Carbono	6,78	6,43	8,24	9,48
Aluminio	11,37	12,23	10,78	10,87
Fósforo	0,17	0,20	0,22	0,21
Magnesio	0,64	0,55	0,71	0,59
Calcio	1,89	1,27	1,67	1,56
pH	6,07	5,90	6,11	5,88

Técnica de espectroscopia de energía dispersiva de rayos X (ITSU).

(17%) y aluminio en 4%, con respecto al Testigo Absoluto bajo labranza reducida; mientras que al compararlo con el Testigo Regional (120-60-80) bajo labranza convencional el carbono, fósforo, magnesio y calcio aumentaron en 47, 24, 7 y 23% respectivamente y el aluminio se redujo en 11%, como resultado de la liberación de nutrientes durante la mineralización. Estos resultados son congruentes con los obtenidos por Clark *et al.* (1990) en sorgo, ya que con una concentración relativamente alta de silicio aplicada al suelo incrementó la materia orgánica en 7,9%, el potasio en 12% y el aluminio lo redujo en un 32%.

### Conclusiones

- La aplicación de fertilizantes organominerales en canola de secano bajo labranza reducida permiten disminuir la fertilización química (nitrógeno, fósforo y potasio) en un 25% e incrementan el índice de área foliar, número de silicuas por planta y peso de mil granos.

- La aplicación de 500 kg ha<sup>-1</sup> de Silifertidol Plus y 250 kg ha<sup>-1</sup> de Fosfosilidol más 90-45-60 de NPK bajo labranza reducida aumentaron en 55% y 53%, respectivamente el rendimiento de grano en canola con respecto al testigo regional bajo labranza convencional (120-60-80; NPK).
- El Silifertidol Plus 500 kg ha<sup>-1</sup> y Fosfosilidol 250 kg ha<sup>-1</sup> más 90-45-60 de nitrógeno fósforo y potasio mostraron un incremento del 54 y 55% respectivamente en la relación beneficio costo sobre el testigo bajo labranza convencional.
- El Silifertidol Plus bajo labranza reducida incrementó en el suelo el carbono, fósforo, magnesio y calcio; disminuyó el aluminio con respecto al testigo bajo labranza convencional.

### Bibliografía

- Angadi SV, Cutfoth HW, McConkey BG, Gan Y, 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. *Crop Sci.* 43: 1358-1366.

- Ali MH, Zaman SMH, Hossain SMA, 1996. Variation in yield, oil and protein content of rapeseed (*Brassica campestris*) in relation to levels of nitrogen, sulphur and plant density. *Indian J. Agron.* 41: 290-295.
- Anaya GM, 1989. Global assessment of soil degradation in México, GLASOD Project, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Montecillo, México 106 p.
- Astier CM, 2007. Fortalecimiento de una metodología de evaluación de sustentabilidad a través de un estudio de caso en la Región Purhépecha, México. Proyecto de investigación. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA A.C.) Pátzcuaro, Michoacán. <http://www.rimisp.cl/webpage.php?webid=451>.
- Berglund DR, 2002. Canola variety trials (2003). North Dakota State Univ. Ext. Serv. Bull. A-686. Fargo, ND.
- Berglund DR, 2004. Canola production (2003). North Dakota State Univ. Ext. Serv. Bull. A-1124. Fargo, ND.
- Bocco G, Velásquez A, Torres A, 2000. Ciencia, Comunidades indígenas y manejo de recursos naturales. Un caso de investigación participativa en México. *INTERCIENCIA.* 25: 64-70.
- Carrillo PL, 2005. Efecto de bioactivadores en la producción de grano y aceite en canola de temporal. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 7 de Morelia, Michoacán. 78 p.
- Clark RB, Flores CI, Gourley LM, Duncan RR, 1990. Mineral element concentration and grain field of sorghum (*Sorghum bicolor*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum*) grow on acid soil. M.L. Van Beusichem (Ed.), *Plant nutrition physiology and applications*, p. 391-396. Kluwer Academic Publishers.
- DAMSA, 2006. Silicio en la Agricultura y Medio Ambiente. <http://www.dolomitagricola.com/> (13 de junio de 2006).
- Datnoff LE, Deren RN, Snyder GH, 1997. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Protection.* 16: 525-531.
- Espinoza J, 2004. Fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Informaciones Agronómicas.* No. 55: 5-8.
- Franco CJF, Kornörfer GH, 1995. Aplicação de silício (Si) em cana-de-açúcar: uma alternativa para melhorar características químicas de solos de cerrado. Annual, II Semana de Ciências Agrárias-SECA. Uberlândia.
- Gómez LBL, 2002. Simulación de granizo en trigo (*Triticum aestivum* L.). Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 324 p.
- Grand DJ, 2000. Effect of nitrogen and sulfur on canola yield and nutrient uptake. *Agron. J.* 92: 644-649.
- Kornörfer GH, Colombo CA, Rodríguez LL, 1998. Effect of thermo-phosphate as silicon source for sugarcane. Inter-American Sugar Cane Seminar. 9-11 Sept., Miami, FL.
- Lemus RBE, 2007. Agua y Salud: un enfoque sustentable. [www.geocities.com/congresoprograma/5-6.pdf](http://www.geocities.com/congresoprograma/5-6.pdf). (15 de marzo de 2007).
- Olarte-Ortiz O, Almaguer-Vargas G, Espinoza EJ, 2000. Efecto de la fertilización foliar en el estado nutrimental, la fotosíntesis, la concentración de carbohidratos y el rendimiento en naranjo "Valencia Late". *TERRA Latinoamericana.* 18: 339-348.
- Ortegón-Morales AS, Díaz-Franco A, González-Quintero J, 2007. Cultivares de canola y su interacción con el ambiente y método de siembra. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo.* 23: 21-28.
- Ortegón MAS, Díaz FA, Ramírez LA, 2006. Rendimiento y calidad de semilla de variedades e híbridos de canola en el norte de Tamaulipas, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 181-186.
- Osuna E, 1997. Investigación de erosión y labranza de conservación en la región norte-centro de México. In: Claverán *et al.* (eds.) *Avances de Investigación en Labranza de conservación.* Libro técnico N° 1. Morelia, Mich. INIFAP. CENAPROS. pp. 199-214.
- Ozer H, 2003. The effect of plant population densities on growth, yield and yield components of two spring rapeseed cultivars. *Plant Soil Environ.* 49: 422-426.

- Marscher H, 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London. Miyake, Y. and Takahashi, E. 1983. Effect of silicon on the growth of cucumber plant in soil culture. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29:463-471.
- Miyake Y, Takahashi E, 1983. Effect of silicon on the growth of cucumber plant in soil culture. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29:463-471.
- Miyake Y, Takahashi E, 1986. Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plants in a solution culture. *Soil Sci. Plant Nutr.* 32(2), 321-326.
- Momoh EJJ, Zhou W, 2001. Growth and yield responses to plant density and stage of transplanting in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agron. Crop Sci.* 186: 253-259.
- Morrison MJ, McVetty PBE, Scarth R, 1990. Effect of altering plant density on growth characteristics of summer rape. *Can. J. Plant Sci.* 70: 139-149.
- Nielsen DC, 1996. Potential of canola as a dryland crop in Northeastern Colorado. In: J. Janick (ed). *Progress in new crops.* ASHS Press, Alexandria, VA pp: 281-287.
- Quero GE, 2006a. Silicio en la producción agrícola. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. 5 p. <http://loquequero.com/portal-loquequero.com> (8 de marzo de 2007).
- Quero GE, 2006b. Manejo del silicio en la producción agrícola. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. 4 p. <http://loquequero.com/portal-loquequero.com> (8 de marzo de 2007).
- Quero GE, 2006c. El pH y su importancia en el manejo de la producción agrícola. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. 4 p. <http://loquequero.com/portal-loquequero.com> (8 de marzo de 2007).
- Ramos A, 2007. Urge un programa para frenar erosión. Periódico Reforma. Noticia 54. México.
- Roberts TL, 2002. Fertilidad del suelo, altos rendimientos y rentabilidad. *Informaciones Agronómicas.* 46: 6-10.
- Steel RGD, Torrie JH, 1980. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. 2a Edition. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Tamagno LN, Chamorro AM, Saradón, SJ, 1999. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus* L. ssp *oleifera* forma *annua*). Efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. *Rev. Fac. Agron., La Plata* 104: 25-34.
- Tapia VLM, Tiscareño LM, Salinas RJ, Velásquez VM, Vega PA, Guillén AH, 2002. Respuesta de la cobertura residual del suelo a la erosión hídrica y la sostenibilidad del suelo, en laderas agrícolas. *TERRA latinoamericana* 20: 449-457.
- Tiscareño M, Gallardo M, Velásquez M, 1997. Impacto de los sistemas de labranza en las laderas. In: Claverán *et al.* (eds.) *Avances de Investigación en Labranza de conservación.* Libro técnico N° 1. Morelia, Mich. INIFAP. CENAPROS. pp. 107-122.
- Thomas P, 2003: *Canola growers manual.* Canola Council of Canada. pp 502-514.
- Turrent FA, 1986. Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana. Colegio de Postgraduados, Chapin-go. México.
- Velásquez M, Tiscareño M, Claverán R, Gallardo M, 1997. Erosión y productividad bajo labranza de conservación I. *Avances de investigación en suelos de ando de Michoacán.* INIFAP-CENAPROS. Folleto Técnico N° 1. 34 p.
- Zuñiga GJL, Camacho R, Uribe SG, Francisco NN, Turrent FA, 1993. Terrazas de muro vivo para sustentar la productividad en terrazas agrícolas de ladera. Folleto técnico No. 6, SARH, INIFAP. 29 p.

(Aceptado para publicación el 14 de junio de 2010)