

FERTIRRIEGO Y LABRANZA DE CONSERVACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL

Fertigation and Conservation Tillage in the Production of Bean

M. A. Martínez-Gamiño^{1†}, C. Jasso-Chaverría¹ y J. Huerta-Díaz¹

RESUMEN

Existe un desconocimiento de la respuesta biológica del cultivo del frijol a la combinación del fertirriego y de la labranza de conservación para que económicamente sea una opción productiva que sustituya a la tecnología tradicional con riego por gravedad, fertilización al suelo y labranza tradicional (barbecho + rastra). El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del fertirriego, labranza de conservación, dosis de nitrógeno y potasio y densidad de población en el rendimiento de frijol. Se combinaron tres dosis de nitrógeno: 100, 150 y 200 kg ha⁻¹ y dos de potasio: 50 y 100 kg ha⁻¹, los seis tratamientos resultantes se establecieron con una densidad de población de 300 000 plantas ha⁻¹, en labranza de conservación y con riego por goteo. Se incluyeron dos testigos: T1) con la dosis tradicional 40-60-00, 150 000 plantas ha⁻¹, labranza tradicional y riego por gravedad y T2) con la fórmula 40-60-00, 150 000 plantas ha⁻¹, labranza de conservación y riego por goteo. Los resultados indicaron que, al aplicar la fórmula 40-60-00 a través del riego por goteo, la producción de grano se incrementó 98% en relación con la obtenida con la misma cantidad de fertilizante pero con riego en surcos. Al comparar la producción obtenida con las dosis 40-60-00 y 200-100-50, la producción de frijol se incrementó 151% favorable al segundo tratamiento, indicando una respuesta positiva del cultivo de frijol al añadir más nitrógeno, sin embargo, el análisis financiero parcial reportó que la mejor opción fue la dosis 40-60-00 aplicada mediante riego por goteo, resultando incoesteable emplear más fertilizante.

Palabras clave: rendimiento, humedad del suelo, componentes del rendimiento.

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CIRNE-CEPAL. Santos Degollado 1015-A, Col. Cuauhtémoc, 78270 San Luis Potosí, S.L.P., México.

[†] Autor responsable (martinez.miguelangel@inifap.gob.mx)

Recibido: noviembre de 2003. Aceptado: noviembre de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 367-374.

SUMMARY

The biological response of bean is unknown when fertigation and conservation tillage are combined to make it an economically productive option, substituting traditional technology with surface irrigation, fertilizers applied to the soil, and traditional tillage (plow + disk). The objective of this study was to assess the effect of fertigation, conservation tillage, doses of nitrogen and potassium, and high plant density on bean yield. Three doses of nitrogen, 100, 150, and 200 kg ha⁻¹, and two doses of potassium, 50 and 100 kg ha⁻¹ were combined to obtain six treatments established with a density of 300 000 plants ha⁻¹, conservation tillage, and drip irrigation. Two additional treatments were included, T1) with the traditional dose 40-60-00, 150 000 plants ha⁻¹, traditional tillage, and surface irrigation, and T2) with the formula 40-60-00, 150 000 plants ha⁻¹, traditional tillage, and drip irrigation. Results showed that when 40-60-00 was applied through drip irrigation, grain yield increased 98% compared to that of the same dose of fertilizer but with surface irrigation. Comparing the production obtained with the doses of 40-60-00 and 200-100-50, bean production increased 151% in favor of the second treatment. This indicated a positive response of bean when more nitrogen was added; however, the partial economical analysis reported that the best option was the dose of 40-60-00 applied through drip irrigation, resulting unprofitable to use more fertilizer.

Index words: grain yield, soil moisture, yield components.

INTRODUCCIÓN

En San Luis Potosí, la superficie que se siembra con frijol de riego es de 10 500 ha, con un rendimiento promedio de 1.5 t ha⁻¹, la cual, comparada con la media nacional de 3.0 t ha⁻¹, implica una problemática local asociada a un deficiente uso de agua de riego, fertilizantes y otros insumos agrícolas, así como a un laboreo del suelo en forma tradicional (barbecho más rastra). Para

lograr que la producción de frijol con riego sea una actividad atractiva a los productores, es necesario aplicar tecnologías, como el fertirriego y la labranza de conservación, que promuevan un uso más eficiente de suelo, agua y fertilizantes.

El fertirriego es una técnica que tiene por objetivo aprovechar el flujo hídrico para transportar los nutrimentos que necesita la planta como complemento a los que le proporciona el suelo (Rincón-Sánchez, 1991; Burt *et al.*, 1995). Al mismo tiempo, ofrece la posibilidad de optimizar el agua y los fertilizantes, componentes de gran importancia en la explotación agrícola; además, representa una buena opción para utilizar agua con alto contenido iónico. El fertirriego es un componente tecnológico determinante en la agricultura moderna, en la cual está bien claro que, debido al reducido volumen del bulbo húmedo, se requiere de un adecuado suministro nutricional en el sistema radical del cultivo (Hochmuth 1992, 1994). Esta técnica de producción debe complementarse con estudios sobre épocas de aplicación y concentraciones nutrimentales más precisas para los cultivos, apoyados en análisis foliares; así como la adecuación de las dosis de acuerdo con el contenido de iones presentes en el agua de riego (Hochmuth, 1992; Burn y Hammelin, 1993).

En el mundo, el fertirriego se ha enfocado a cultivos considerados altamente rentables, como hortalizas, cultivos industriales y frutales; sin embargo, en México, se han obtenido buenos resultados al emplear esta tecnología en la producción de cultivos básicos (Geraldo-Martínez, 1999; González-Meza *et al.*, 1999). En maíz cultivado con el sistema de riego por goteo, la aplicación de altas concentraciones de nitrógeno y potasio combinadas con altas densidades de plantas produjo un rendimiento de grano de 18.5 t ha⁻¹ (González-Meza *et al.*, 1999). Geraldo-Martínez (1999) indicó que la utilización del riego por goteo en maíz permite tener un ahorro de agua de 50% sin afectar el rendimiento del cultivo.

En Sinaloa, se reportaron incrementos superiores a 50% en la producción de leguminosas al combinar el fertirriego con la labranza de conservación (Fundación Produce de Sinaloa, 1999). Mendoza-Robles (2003), al comparar el rendimiento obtenido en garbanzo, soya y frijol con riego por gravedad y por goteo, determinó un incremento de 15, 9 y 27%, respectivamente, a favor del goteo.

Aunado al uso eficiente de agua y fertilizantes con el fertirriego, en la agricultura tradicional, la preparación

de la cama de siembra es una parte fundamental del proceso de producción de los cultivos. Uno de los objetivos de esta práctica es la creación de características óptimas para el establecimiento y crecimiento de las plantas. El laboreo del suelo previo a la siembra se efectúa por dos razones: 1) remover las malezas y 2) propiciar un ambiente adecuado para que la semilla pueda germinar y, posteriormente, las plántulas puedan desarrollar un sistema radical para obtener los nutrimentos, el agua y el aire necesarios para su crecimiento (Figuroa-Sandoval, 1983).

En contraparte, la labranza de conservación es una de las opciones más viables para lograr la sostenibilidad de los recursos naturales suelo y agua, así como en la producción de los cultivos (Benites, 1992), ya que se reducen las pérdidas de nutrimentos, se incrementan la materia orgánica, la velocidad de infiltración, la flora y la fauna edáfica y se retiene mayor cantidad de agua aprovechable para el cultivo por más tiempo. Con esta técnica se realizan menos pasos de maquinaria y se abaten la compactación del terreno y los costos de operación, contribuyendo al equilibrio en el medio ambiente (Figuroa-Sandoval, 1983, 1999).

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de fertirriego, labranza de conservación, dosis de nitrógeno y potasio y altas densidades de población en el rendimiento de frijol.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el ejido Palma de la Cruz, municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, cuyas coordenadas son 22° 14' 03" N y 100° 52' 11". El clima es seco-templado (BSk) (García, 1973), con temperatura media anual de 16.2 °C, la temperatura más baja es en el mes de enero, un período libre de heladas de abril a septiembre y una precipitación media anual de 306 mm. La clasificación del suelo corresponde a un Castañozem cálcico, de textura arcillosa, con 1.82% de materia orgánica (MO) y un pH de 7.9 (CGSNEGI, 1995).

Se usó la variedad de ciclo tardío Flor de Mayo RMC, con floración y madurez fisiológica a 55 y 118 días, respectivamente. Se combinaron tres dosis de nitrógeno: 100, 150 y 200 kg ha⁻¹ y dos de potasio: 50 y 100 kg ha⁻¹, las cuales se establecieron en parcelas con labranza de conservación (LC); el fósforo y la densidad de plantas se mantuvieron constantes en 100 kg ha⁻¹ y 300 000 plantas ha⁻¹ y se incluyeron dos testigos: T1) con la dosis

tradicional 40-60-00, 150 000 plantas ha⁻¹, labranza tradicional (LT) y riego por gravedad; y T2) con la fórmula 40-60-00, 150 000 plantas ha⁻¹, labranza de conservación y riego por goteo, para un total de ocho tratamientos. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela total constó de seis surcos de 12.5 m de longitud y la parcela útil de los dos surcos centrales con 6 m de longitud. Se realizó un análisis de varianza ($P \leq 0.05$) para todos los tratamientos y otro para el arreglo factorial. La comparación de medias se realizó con la prueba de Diferencia Mínima Significativa ($P \leq 0.05$).

Las labores de preparación del terreno con LT consistieron en un barbecho a 0.30 m de profundidad con arado de discos; en LC, se empleó el implemento denominado "multiarado", el cual no invierte el perfil del suelo. Posteriormente, se dio un paso de rastra en ambos métodos de labranza. En LT, la distancia entre surcos fue de 0.825 m. En LC, se construyeron camas de siembra con una separación entre sí de 1.65 m y se emplearon 2.0 t ha⁻¹ de rastrojo para cubrir 30% de la superficie del suelo. Para la siembra se empleó una sembradora para labranza cero Modelo OL-U. Con excepción del tratamiento testigo con riego por gravedad, cada dosis de fertilización se inyectó tres veces por semana a través de un dispositivo tipo Venturi y la frecuencia de riegos se determinó de acuerdo con el contenido de humedad del suelo. En el tratamiento con fertilización al suelo, se aplicaron 50% del nitrógeno y 100% del fósforo en la siembra y el otro 50% de N a 30 días. En todos los tratamientos se permitió un abatimiento del agua aprovechable de 50% de la siembra

a floración y de 10% de la floración a la cosecha. El control de la maleza se realizó de acuerdo con el paquete tecnológico con labranza de conservación descrito por Martínez-Gamiño (2002) y para el control de plagas se siguió la recomendación del INIFAP (Rocha-Ortiz, 1990).

Se realizaron las determinaciones humedad del suelo por el método gravimétrico en dos estratos: de 0.0 a 0.15 y de 0.15 a 0.30 m; infiltración por el método de doble cilindro al inicio y al final del ciclo vegetativo, rendimiento de grano (t ha⁻¹), número de plantas cosechadas, número de vainas por planta (promedio en tres plantas), número de semilla por vaina, peso de la paja y peso de 100 granos, y se efectuó un análisis financiero parcial de acuerdo con la metodología citada por CIMMYT (1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica de la Humedad del Suelo

En las Figuras 1 y 2 se presentan los resultados de humedad del suelo para los estratos de 0.0 a 0.15 m y de 0.15 a 0.30 m en el cultivo de frijol. Durante los primeros 30 días después de la siembra (DDS), se mantuvo un porcentaje de agua aprovechable menor de 50% en todos los tratamientos, incluyendo al de riego por gravedad. En este período, se registró una precipitación de 0.368 m, por lo que el contenido hídrico, cuando la irrigación fue en surcos, fue similar al reportado con goteo. Después de 40 DDS, fecha en que inició la floración, el agua edáfica con el goteo se incrementó a valores mayores de 60%, debido a

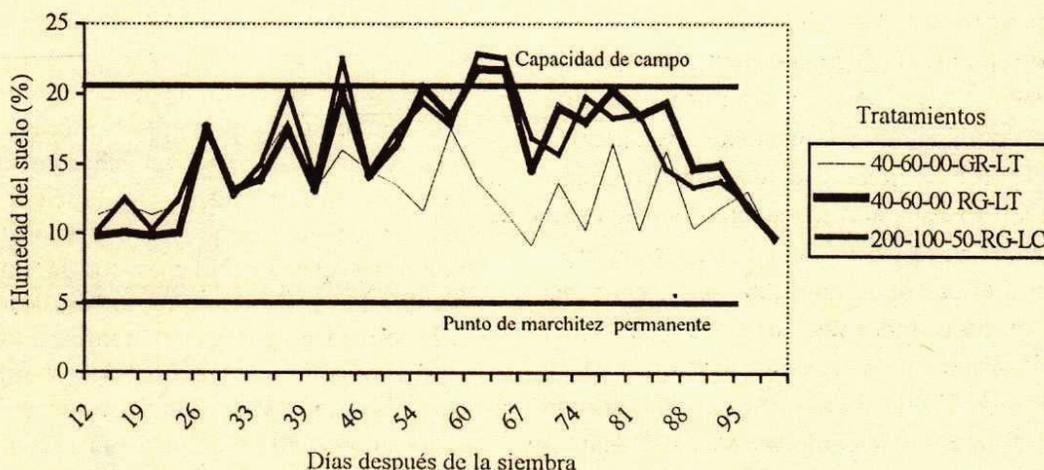


Figura 1. Dinámica de la humedad del suelo en el estrato de 0.0 a 0.15 m en frijol con fertirriego y labranza de conservación. N, P, K; GR = riego por gravedad; RG = riego por goteo; LT = labranza tradicional; LC = labranza de conservación.

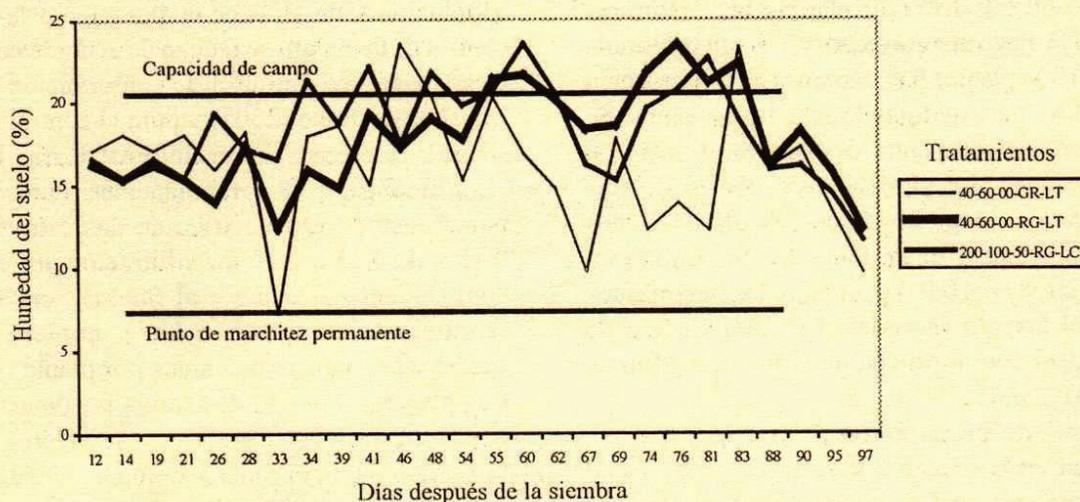


Figura 2. Dinámica de la humedad del suelo en el estrato de 0.15 a 0.30 m en frijol con fertirriego y labranza de conservación. N, P, K; GR = riego por gravedad; RG = riego por goteo; LT = labranza tradicional; LC = labranza de conservación.

la ausencia de lluvias y a irrigaciones cada tercer día con 2 a 3 h de duración.

La humedad registrada después de 40 DDS con riego por gravedad fluctuó de acuerdo con la frecuencia del mismo. La humedad descendió a valores cercanos al punto de marchitez permanente en la profundidad de 0.0 a 0.15 m antes de cada riego; con goteo, los registros hídricos fueron más estables y superiores a 60% de la humedad disponible para las plantas, situación que favoreció al cultivo de frijol y se reflejó en un mejor rendimiento. Estos resultados concuerdan con estudios sobre el uso eficiente del agua en frijol, en los cuales se señaló como un efecto positivo en la producción del cultivo cuando la humedad del suelo antes del inicio de floración es inferior a 50% de la humedad aprovechable (Padilla-Ramírez, 1982). Este autor mencionó que después de la floración debe mantenerse un contenido hídrico en el suelo superior a 60% de humedad aprovechable para alcanzar el potencial productivo del cultivo, situación que se cumplió con el riego por goteo.

Referente al efecto de la labranza, se observó que el contenido de humedad entre los tratamientos del factorial de nitrógeno y potasio, establecidos con LC, y los testigos 40-60-00, con LT, fue similar durante el ciclo del cultivo. Lo anterior es comprensible dado que el contenido hídrico fue un factor que se modificó más debido al continuo humedecimiento del goteo y no a un efecto de la LC.

Infiltración

Una de las bondades de la labranza de conservación es el incremento en la velocidad de infiltración. La explicación a esto es que, con el uso de la labranza de conservación, los agregados del suelo no se destruyen y se mantiene una continuidad en la porosidad formada por la estructura del suelo, las raíces de las plantas y la edafo-fauna. Al mantener la porosidad del suelo, las propiedades hidráulicas del mismo se benefician, en especial la velocidad de infiltración.

Los valores registrados durante la prueba de infiltración en los tratamientos con LT y LC, al inicio del ciclo del frijol, no reportaron diferencias estadísticas significativas. En la Figura 3 se distingue que la infiltración con LT y LC fue similar, con sólo una tendencia favorable en LT a incrementar hasta en 1 cm h^{-1} el valor de infiltración en los primeros 5 min en relación con lo obtenido en LC. La baja velocidad de infiltración en LC fue lógica, si se considera que el suelo se rastreó después del uso del multirado para desbaratar los terrones grandes y evitar problemas con la emergencia de las plantas. Lo anterior destruyó la porosidad en la superficie del suelo, razón por la cual la infiltración fue parecida a la registrada en LT. Al final del ciclo de frijol, la infiltración con LC, aun cuando estadísticamente fue similar a la reportada en LT, manifestó un incremento mayor de 100% en la infiltración inicial (Figura 4). Este incremento en la velocidad de infiltración en LC se debió a que el suelo no se removió con aporques o escardas, como en

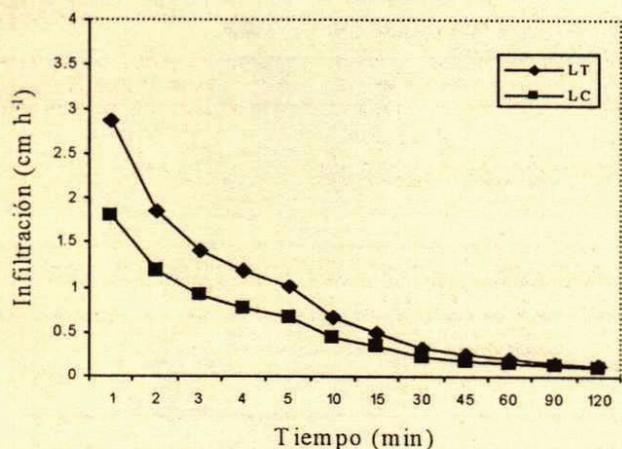


Figura 3. Infiltración en frijol con fertirriego y labranza de conservación al inicio del ciclo vegetativo.

LT, por lo que la porosidad en LC se mantuvo por lo menos a lo largo del ciclo del cultivo.

Rendimiento de Frijol y sus Componentes

Los resultados del análisis de varianza (ANVA) de los ocho tratamientos evaluados para rendimiento de grano, número de plantas cosechadas, vainas por planta, granos por vaina, peso de paja y peso de 100 granos mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, con excepción de granos por vaina (Cuadro 1).

Al realizar la prueba de diferencia mínima significativa para comparar los valores promedio del rendimiento entre tratamientos, se encontró que, al aplicar la dosis de fertilización 40-60-00 a través del riego por goteo (T8), la producción de grano se incrementó en 98% en relación con la obtenida con el riego por gravedad (T7) (Cuadro 2). Este resultado concuerda con reportes de investigación de Burgueño *et al.* (1995) y Bosco

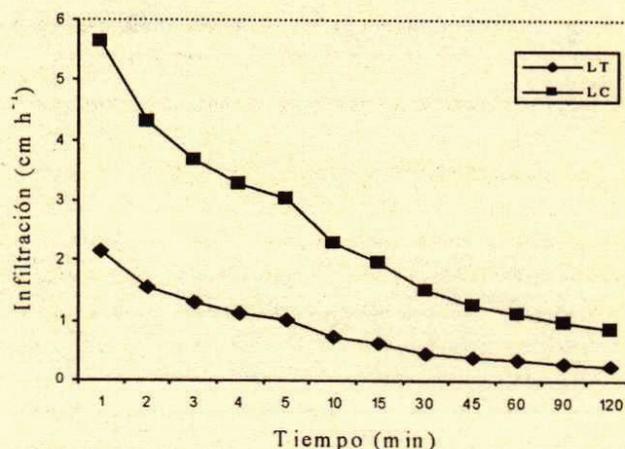


Figura 4. Infiltración en maíz y frijol con fertirriego y labranza de conservación al final del ciclo vegetativo.

(1999), quienes señalaron un aumento hasta de 100% en la cosecha con el simple hecho de cambiar el método de riego por gravedad por el de goteo. Esta respuesta del cultivo de frijol resultó clara después del análisis de la humedad del suelo realizado anteriormente y se destacó que el goteo permitió un uso más eficiente del recurso hídrico, al mantener un contenido de humedad en el suelo más alto y constante en comparación con el riego por gravedad.

Al comparar el rendimiento del testigo con riego por gravedad con el obtenido con la dosis 200-100-50, 300 000 plantas ha^{-1} y con goteo, se obtuvo una diferencia de 151% favorable a este último. Esto indica una respuesta del cultivo de frijol al incrementar la cantidad de nitrógeno de 40 a 100 $kg\ ha^{-1}$. Este efecto positivo se clarificó más con los resultados del análisis factorial; en ellos, sólo el rendimiento de grano, las vainas por planta y la paja reportaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para las dosis de nitrógeno (Cuadro 3). Con base en este análisis, los mejores rendimientos de grano

Cuadro 1. Cuadrado medio y nivel de significancia del análisis de varianza general para rendimiento y sus componentes en frijol con fertirriego y labranza de conservación.

Factor de variación	GL	Rendimiento	No. de plantas	Vainas por planta	Granos por vaina	Peso de paja	Peso de 100 granos
Cuadrado medio							
Tratamientos	7	0.7477 **	3918.91 **	30.2621 *	0.1896 ns	0.3376 **	5.4464 *
Bloques	3	0.1322 ns	128.89 ns	23.7913 ns	0.2689 ns	0.0851 ns	3.3033 ns
Error	21	0.0646	65.84	9.1222	0.1421	0.0736	2.0078
Total	31						
CV		10.31	9.54	15.03	6.41	13.55	3.93

** = significativo a 1%. * = significativo a 5%. ns = no significativo.

Cuadro 2. Valores promedio de las variables analizadas en frijol con fertirriego y labranza de conservación.

Tratamiento [†]		Rendimiento	Vainas por planta	Peso de paja
		t ha ⁻¹		t ha ⁻¹
T1	100-100-50-LC	5.333 ab [‡]	19.127 bc	4.268 a
T2	150-100-50-LC	5.389 ab	16.295 c	4.268 ab
T3	200-100-50-LC	5.657 a	19.003 bc	4.393 a
T4	100-100-100-LC	4.641 bc	19.460 bc	3.586 bc
T5	150-100-100-LC	5.581 a	21.713 ab	4.520 a
T6	200-100-100-LC	5.616 a	19.170 bc	4.772 a
T7	40-60-00-GR-LT	2.255 d	20.253 bc	3.460 c
T8	40-60-00-RG-LT	4.475 c	25.795 a	3.106 c

[†] LC = labranza de conservación; LT = labranza tradicional; GR = riego por gravedad; RG = riego por goteo.

[‡] Medias con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

Cuadro 3. Cuadrados medios y nivel de significancia del análisis de varianza factorial para el rendimiento y sus componentes en frijol con fertirriego y labranza de conservación.

Factor de variación	GL	Rendimiento	Vainas por planta	Granos por vaina	Peso de paja	Peso de 100 granos
Cuadrado medio						
Nitrógeno	2	0.2445 **	5.0552 *	0.1382 ns	0.2239 *	6.8730 ns
Potasio	1	0.0589 ns	44.5010 ns	0.3384 ns	0.0004 ns	1.4512 ns
Interacción	2	0.1054 ns	13.8096 ns	0.1522 ns	0.1645 ns	0.9209 ns
Error	15	0.0344	6.3767	0.1066	0.0392	1.9165
Total	23					

** = significativo a 1%. * = significativo a 5%. ns = no significativo.

y paja se obtuvieron con 150 y 200 unidades de nitrógeno (Cuadro 4), sin embargo, la diferencia entre estos dos fue de sólo 0.172 t ha⁻¹ por lo que el análisis financiero determinará la factibilidad económica de invertir en 50 unidades más de nitrógeno para incrementar en sólo 3% la producción de frijol.

Referente a la respuesta del frijol al potasio, no se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en ninguna de las variables analizadas, incluso el rendimiento promedio tuvo una tendencia a disminuir en 4% al aplicar la máxima cantidad de potasio. Si se compara la diferencia en rendimiento de grano entre la dosis 40-60-00 y 150 000 plantas ha⁻¹ y el promedio del factorial al aplicar 50 unidades de potasio, la diferencia fue de 0.997 t ha⁻¹ (21%), lo que se atribuyó a la interacción en el empleo de 60 unidades de nitrógeno, 40 de fósforo, 50 de potasio y 150 000 plantas ha⁻¹. Debido a que no se incluyó en este estudio un tratamiento sin potasio en el factorial, no se puede dar una interpretación exacta sobre el efecto de este nutrimento aplicado por goteo en el rendimiento de frijol, resaltando la necesidad de obtener

más información de la respuesta del cultivo de frijol al uso del potasio con fertirriego.

El único componente del rendimiento analizado que reportó diferencias significativas entre tratamientos fue el de vainas/planta (Cuadro 4); el tratamiento con riego por goteo y la dosis de fertilización 40-60-00 y 150 000 plantas ha⁻¹ superaron con 27% al mismo tratamiento, pero con riego por gravedad y con 36% al 200-100-50 y 300 000 plantas ha⁻¹. Estos resultados indicaron un efecto

Cuadro 4. Valores promedio de las variables analizadas como factorial en frijol con fertirriego y labranza de conservación.

Factor y nivel	Rendimiento	Vainas por planta	Peso de paja
	t ha ⁻¹		t ha ⁻¹
N-100	4.970 b [†]	20.420 a	3.933 b
N-150	5.485 ab	19.004 a	4.394 ab
N-200	5.657 a	19.086 a	4.583 a
K-50	5.472 a	18.142 a	4.303 a
K-100	5.273 a	20.865 a	4.293 a

[†] Medias con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

favorable al fertirriego y negativo al incrementar la densidad de población de 150 000 a 300 000 plantas ha⁻¹.

Análisis Financiero Parcial

Los resultados del análisis financiero parcial se pueden agrupar en tres tipos tecnológicos, según los beneficios parciales obtenidos (Cuadro 5). En el primer caso, determinado por la dosis 40-60-00 aplicada al suelo e irrigado por gravedad, se obtuvo el beneficio neto más bajo, con \$9082.00. El segundo grupo se distinguió por inyectar la misma cantidad de fertilizante del grupo anterior, pero a través del riego por goteo y distribuido de acuerdo con el desarrollo fenológico del cultivo de frijol, incrementando con ello el beneficio neto en 71%. Finalmente, quedaron las dosis con alta concentración de nitrógeno y potasio e inyectadas al sistema de riego por goteo y el tratamiento con 200-100-50 registró un beneficio neto de \$ 18 757.00, lo que representó un aumento de 107% en relación con la fórmula 40-60-00

y riego por gravedad y de 20% cuando esta fórmula se aplicó por goteo. Lo anterior corroboró que con el hecho de inyectar el fertilizante en el riego por goteo, en lugar de aplicarlo al suelo, se obtuvieron incrementos más sustanciales que son un aliciente para que los productores adopten la presente tecnología.

Mediante el análisis de dominancia se descartaron los tratamientos que presentaron beneficios netos menores y costos variables mayores (Cuadro 6); la mejor opción económica para capital ilimitado fue la dosis 40-60-00 con riego por goteo, la cual tuvo una tasa de retorno marginal de 186% (Cuadro 7).

CONCLUSIONES

- El riego por goteo permitió mantener un mayor contenido de agua en el suelo en relación con el riego por gravedad.
- La dosificación del fertilizante durante el ciclo del cultivo a través del riego por goteo incrementó 98%

Cuadro 5. Análisis financiero parcial de frijol con dosis de fertilizante, fertirriego y labranza de conservación.

	N	100	150	200	100	150	200	40	40
	P	100	100	100	100	100	100	60	60
	K	50	50	50	100	100	100	0	0
Rendimiento en campo (t ha ⁻¹)		5.333	5.389	5.657	4.641	5.581	5.616	2.255	4.475
Rendimiento neto (90%) (t ha ⁻¹)		4.78	4.76	5.091	4.177	5.023	5.054	2.03	4.028
Beneficio bruto (\$5.00 kg ⁻¹ de frijol)		23 900	23 800	25 455	20 885	25 115	25 270	10 150	20 140
Costos variables									
Nitrógeno \$6.88 kg ⁻¹		688	1 032	1 376	688	1 032	1 376	275.2	275.2
Fósforo \$13.22 kg ⁻¹		1 322	1 322	1 322	1 322	1 322	1 322	793.2	793.2
Potasio \$10.00 kg ⁻¹		500	500	500	1 000	1 000	1 000	0	0
Sistema fertirriego		3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	0	3 500
Costos variables		6 010	6 354	6 698	6 510	6 854	7 198	1 068	4 568
Beneficio neto		17 890	17 446	18 757	14 375	18 261	18 072	9 082	15 572

Cuadro 6. Análisis de dominancia con diferentes dosis de fertilizante en frijol con fertirriego y labranza de conservación.

Beneficio neto	N	P	K	Riego	Costo variable	Dominancia
\$					\$	
18 757	200	100	50	Goteo	6698	No
18 261	150	100	100	Goteo	6854	Sí
18 072	200	100	100	Goteo	7198	Sí
17 890	100	100	50	Goteo	6010	No
17 446	150	100	50	Goteo	6354	Sí
15 576	40	60	0	Goteo	4568	No
14 375	100	100	100	Goteo	6510	Sí
9 082	40	60	0	Gravedad	1068	No

Cuadro 7. Análisis marginal con diferentes dosis de fertilizante en frijol con fertirriego y labranza de conservación.

Beneficio neto	N	P	K	Riego	Costo variable	Incremento marginal beneficio neto	Incremento marginal costos variables	Tasa retorno marginal
\$					\$			%
18 757	200	100	50	Goteo	6698	867	688	126
17 890	100	100	50	Goteo	6010	2314	1442	160
15 576	40	60	0	Goteo	4568	6494	3500	186
9 082	40	60	0	Gravedad	1068	---	---	---

el rendimiento de frijol, en relación con la fertilización al suelo y riego por gravedad.

- La labranza de conservación incrementó la velocidad de infiltración del agua en relación con la labranza tradicional.

- La mejor dosis de fertilización para capital ilimitado fue la 40-60-00 aplicada en el riego por goteo.

LITERATURA CITADA

- Benites, J. R. 1992. Clasificación de los sistemas de labranza. pp. 7-8. In: Manual de sistemas de labranza para América Latina. Boletín de suelos 66. Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.
- Burgueño, H., J. Gómez-Rodríguez e I. Montoya-Montoya. 1995. La fertigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. Folleto Técnico 2. BURASAG. Culiacán, Sinaloa, México.
- Burn, R. y P. R. Hammelin. 1993. Fertigation management of rose plants grown in greenhouse on rockwood. Adv. Hort. Sci. 7: 145-148.
- Burt, C. M., K. O'Connor y T. Ruehr. 1995. Fertigation. The Irrigation Training and Research Center-California Polytechnic State University. San Luis Obispo, CA, USA.
- CGSNEGI. 1995. Cuaderno Estadístico Municipal, Soledad de Graciano Sánchez, Estado de San Luis Potosí. México.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1988. From agronomic data to farmer recommendations: an economics training manual. México, D. F.
- Figueroa-Sandoval, B. 1983. La investigación en labranza en México. Terra 1: 37-43.
- Figueroa-Sandoval, B. 1999. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Posgraduados. Montecillo, estado de México.
- Fundación Produce de Sinaloa, A.C. 1999. Uso de labranza de conservación y fertirriego en leguminosas. Culiacán, Sinaloa, México.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 2ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Geraldo-Martínez, J. B. 1999. Producción de maíz con riego por goteo. Tecnologías llave en mano. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D. F.
- González-Meza, A., G. Ramírez-Jaramillo, L. Pérez-Miranda, A. Turrent-Fernández y J. Piña-Razo. 1999. Maíz de alta productividad con fertigación en la zona henequenera. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Mochichá, Mérida, México.
- Hochmuth, G. J. 1992. Fertilizer management for drip-irrigated vegetables in Florida. HortTechnology 2: 27-32.
- Hochmuth, G. J. 1994. Efficiency range for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. HortTechnology 4: 218-222.
- Martínez-Gamiño, M. A. 2002. Labranza de conservación en condiciones de riego en el Altiplano Potosino. Folleto Técnico 18. Campo Experimental Palma de la Cruz. San Luis Potosí, México.
- Mendoza-Robles, J. L. 2003. Manejo de cultivos para grano mediante riego por goteo. Folleto Técnico 18. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Los Mochis, Sinaloa, México.
- Padilla-Ramírez, J. S. 1982. Influencia de tres niveles de humedad aprovechable del suelo, en dos etapas fenológicas, sobre el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Centro de Investigaciones Agrícolas del Centro Norte. Zacatecas, México.
- Rincón-Sánchez, L. 1991. Fertirrigación en cultivos hortícolas. pp. 223-229. In: El agua y los fertilizantes. Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca, Región de Murcia. Murcia, España.
- Rocha-Ortiz, F. 1990. El cultivo de frijol de riego en el Altiplano Potosino. Folleto para productores 2. Campo Experimental Palma de la Cruz. San Luis Potosí, México.