



SECRETARÍA DE  
AGRICULTURA, GANADERÍA,  
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN  
**SAGARPA**

**inifap**

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS  
CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL NORESTE  
CAMPO EXPERIMENTAL SAN LUIS

# TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION DE FRIJOL CON FERTIRRIEGO EN SAN LUIS POTOSI



**SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA,  
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION**

SECRETARIO

**C. Javier Bernardo Usabiaga Arroyo**

SUBSECRETARIO DE AGRICULTURA

**Ing. Francisco López Tostado**

SUBSECRETARIO DE DESARROLLO RURAL

**Ing. Antonio Ruiz García**

SUBSECRETARIO DE FOMENTO A LOS AGRONEGOCIOS

**Ing. Norberto de Jesús Roque Díaz de León**

COMISIONADO NACIONAL DE ACUACULTURA Y PESCA

**Ing. Ramón Corral Ávila**

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS**

DIRECTOR GENERAL

**Dr. Jesús Moncada de la Fuente**

COORDINADOR GENERAL DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

**Dr. Ramón A. Martínez Parra**

DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACION AGRICOLA

**Dr. Sebastián Acosta Núñez**

DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACION PECUARIA

**Dr. Carlos A. Vega y Murguía**

DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACION FORESTAL

**Dr. Hugo Ramírez Maldonado**

DIRECTOR GENERAL DE TRANSFERENCIA, PRODUCTOS Y  
SERVICIOS

**Dr. Edgar Rendón Poblete**

DIRECTOR GENERAL DE ADMINISTRACION

**Dr. David Moreno Rico**

**CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL NORESTE**

DIRECTOR REGIONAL

**Dr. Luis Angel Rodríguez del Bosque**

DIRECTOR DE INVESTIGACION

**Dr. Jorge Elizondo Barrón**

DIRECTOR DE ADMINISTRACION

**C.P. José Cruz González Flores**

DIRECTOR DE COORDINACION Y VINCULACION  
EN SAN LUIS POTOSI

**M.C. José Luis Barrón Contreras**

JEFE DEL CAMPO EXPERIMENTAL SAN LUIS

**Dr. Sergio Beltrán López**

**INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIONES FORESTALES,  
AGRICOLAS Y PECUARIAS**

**CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL  
NORESTE**

**CAMPO EXPERIMENTAL SAN LUIS**

**TECNOLOGIA PARA LA  
PRODUCCION DE FRIJOL CON  
FERTIRRIEGO EN SAN LUIS  
POTOSI**

**Dr. Cesario Jasso Chaverría**

Investigador del Programa de Fertirrigación

**Dr. Miguel A. Martínez Gamiño**

Investigador del Programa de Labranza de Conservación

**MC. Jesús Huerta Díaz**

Profesor Investigador de la Facultad de Agronomía, UASLP

**Folleto Técnico Núm. 24  
San Luis Potosí, S.L.P., México.  
Septiembre de 2004**

## **TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION DE FRIJOL CON FERTIRRIEGO EN SAN LUIS POTOSI**

No está permitida la reproducción total o parcial de este folleto, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio ya sea electrónico, mecánico, por fotocopias, por registro u otros medios, sin permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Derechos reservados © 2004, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.  
Serapio Rendón No. 83  
Col. San Rafael  
Delegación Cuauhtémoc  
06470 México, D. F.  
Tel. (55) 5140-1600

Primera edición  
Tiraje 1000 ejemplares  
Impreso en México  
Clave INIFAP/CIRNE/A-297

Folleto Técnico No. 24. Septiembre de 2004  
Campo Experimental San Luis, CIRNE - INIFAP  
Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P.  
Oficinas: Av. Santos Degollado 1015 - C  
Col. Cuauhtémoc, C. P. 78270  
San Luis Potosí, S. L. P.  
Teléfono (444) 852 4303 y Fax (444) 813 9151

La cita correcta de este folleto es:

Jasso Ch. C., M. A. Martínez G. y J. Huerta D. 2004.  
Tecnología para la producción de frijol con fertirriego en San Luis Potosí. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental San Luis. Folleto Técnico No. 24. San Luis Potosí, México. 21 p.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES	3
MATERIALES Y METODOS	6
RESULTADOS	9
Velocidad de infiltración	9
Resistencia del suelo a la penetración	11
Materia orgánica (M.O.)	12
Carbono en la biomasa microbiana	12
Nitrógeno en la biomasa microbiana	12
Rendimiento de frijol y sus componentes	13
Curvas de extracción de NPK	15
Análisis económico	17
CONCLUSIONES	18
LITERATURA CITADA	19

## INDICE DE CUADROS

	Pág.	
Cuadro 1	Lista de tratamientos evaluados en frijol cultivado con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2001-2003.	6
Cuadro 2	Dinámica de la materia orgánica, carbono y nitrógeno en la biomasa microbiana del suelo, en frijol cultivado en régimen de fertirriego. Campo Experimental San Luis. 2002.	13
Cuadro 3.	Análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en frijol cultivado con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2001-2003.	13
Cuadro 4	Prueba de medias para las variables significativas en frijol con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2001-2003.	14
Cuadro 5	Análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en frijol con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2001-2003.	15
Cuadro 6	Análisis económico para los diferentes tratamientos evaluados en frijol cultivado con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2001-2003.	17

## INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Efecto del sistema de labranza tradicional (LT) y de conservación (LC) en la infiltración en frijol cultivado en régimen de fertirriego. Determinación realizada al inicio del ciclo del cultivo. Campo Experimental San Luis. 2002.	10
Figura 2	Efecto de sistemas de labranza tradicional (LT) y de conservación (LC) en la infiltración en frijol cultivado en régimen de fertirriego. Determinación realizada al final del ciclo de cultivo. Campo Experimental San Luis. 2002.	10
Figura 3	Resistencia del suelo a la penetración en sistemas de labranza tradicional (LT) y de conservación (LC) en frijol cultivado en régimen de fertirriego. Determinación realizada al final del ciclo de cultivo. Campo Experimental San Luis. 2002.	11
Figura 4	Curva de extracción de NPK en frijol cultivado con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2002.	16

# TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION DE FRIJOL CON FERTIRRIEGO EN SAN LUIS POTOSI

**Dr. Cesario Jasso Chaverría \***  
**Dr. Miguel A. Martínez Gamiño \***  
**M.C. Jesús Huerta Díaz\*\***

## INTRODUCCION

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) es el cultivo de mayor importancia económica y social en San Luis Potosí, ya que forma parte importante en la alimentación humana, y representa la principal fuente de proteínas, especialmente para la población en el medio rural. La superficie sembrada anualmente en condiciones de riego es de 10,500 ha; con rendimiento medio de 1.15 ton ha<sup>-1</sup>. Esta producción es considerada como baja, dado el potencial de rendimiento de las variedades que actualmente existen en el mercado y a las condiciones agro-climáticas de las zonas productoras de frijol en el estado. Lo anterior indica la existencia de barreras asociadas al empleo de prácticas agrícolas tradicionales y un deficiente uso de insumos agrícolas. En su producción destacan el empleo generalizado del sistema tradicional de preparación del suelo (barbecho y uno o dos pasos de rastra), sistema de preparación del suelo que no representa la mejor opción para las diferentes áreas productoras de frijol de riego en el estado, escaso uso de fertilizantes y uso ineficiente del agua de riego, que en conjunto origina que los rendimientos medios sean bajos y como consecuencia las ganancias derivadas de su explotación también sean limitadas.

En San Luis Potosí, la agricultura de subsistencia produce rendimientos muy por debajo del potencial del cultivo y en la agricultura empresarial aún falta incorporar tecnologías modernas de producción enfocadas a lograr una mayor eficiencia en el uso del agua de riego y de los

---

\* Investigadores del Campo Experimental San Luis. CIRNE-INIFAP.

\*\* Profesor-Investigador de la Facultad de Agronomía, USALP.



fertilizantes, como la fertirrigación, (Rincón, 1991; Cadahia, 1998) y la labranza de conservación (Figueroa, 1982; Mannering y Foster, 1983; Lal, 1989; Matson et al, 1997; Reeves, 1997; Figueroa, 1999; Jasso *et al*, 2002), técnicas que representan excelentes alternativas para obtener alta eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes, a la vez se obtienen altos rendimientos y calidad en las cosechas.

La fertilización vía riego por goteo, en la actualidad es la práctica más eficiente en la producción de cosechas ya que combina dos de los factores de mayor importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas (nutrientes y agua). La correcta combinación de niveles entre estos dos elementos es importante para lograr altos rendimientos y calidad en las cosechas (Pizarro, 1996; Cadahia, 1998).

El laboreo del suelo ha sido un componente importante en el proceso de producción de cultivos, en general esta práctica ha sido consistente y se basa fundamentalmente en el sistema de labranza tradicional (barbecho y uno o dos pasos de rastra), sin embargo, este método requiere de una gran cantidad de recursos económicos y energéticos mediante la utilización de maquinaria e implementos. Esta forma de laboreo además de representar un costo importante en la producción, favorece las pérdidas del suelo vía oxidación de la materia orgánica (Reeves, 1997 y Fregoso et al 2002); además de reducir su fertilidad natural y la capacidad de retención de humedad en los suelos como consecuencia de la erosión (Lal, 1989; Matson et al, 1997; Crovetto, 1998; Figueroa, 1999).

La labranza de conservación es un sistema de laboreo en el cual se emplean los residuos de cosecha y la rugosidad superficial del suelo se mantiene con el objeto de controlar la erosión y lograr buenas relaciones suelo y agua. La cantidad de residuos mínima recomendada para cubrir la superficie del suelo es del 30%, ya que con esta cantidad se logra reducir aproximadamente el 50% de la erosión del suelo, disminuir los costos de producción y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del entorno edáfico, en relación a un suelo sin cubierta de residuos en la superficie. La labranza de conservación representa una

opción viable en el manejo de los suelos, particularmente en la producción de cultivos básicos (Mannering y Foster, 1983; Figueroa, 1999).

Esta publicación pretende hacer extensivos los resultados de investigación que el Campo Experimental San Luis ha generado, para producir frijol de riego. De forma que la implementación del fertirriego y la labranza de conservación, contribuyan de manera importante para hacer un uso óptimo de los recursos suelo, agua y nutrientes, y generar mayores ingresos derivados de cultivar frijol en San Luis Potosí.

## **ANTECEDENTES**

La fertirrigación es una técnica que tiene por objeto aprovechar el flujo hídrico para transportar los nutrientes que necesita la planta como complemento a los que le proporciona el suelo (Rincón 1991; Nathan, 1995; Burt, *et al* 1998). Ofrece al mismo tiempo la posibilidad de optimizar el agua y los nutrientes, además representa una buena opción para utilizar aguas con alto contenido de sales. Es un factor determinante en la agricultura moderna en donde es claro que debido al reducido volumen del bulbo húmedo, se requiere un adecuado suministro de nutrientes y agua (Hochmuth 1992; Hochmuth 1996).

El fertirriego permite aprovechar el agua en zonas donde este recurso es limitado. Esta técnica es susceptible de aplicarse en una amplia gama de situaciones tanto por lo que se refiere a tipos de cultivos como a características de suelo y agua. En todos los casos se aplica en explotaciones intensivas, en las que el agua como recurso limitado, debe ser utilizado con la mayor eficiencia posible (Pizarro, 1996).

Los sistemas de riego por goteo deben ser diseñados adecuadamente, de manera que el agua y los nutrientes sean colocados en la zona radical de las plantas y las cantidades de agua y nutrientes sean correctamente calculadas para minimizar la posibilidad de una aplicación en exceso o bien falta de estos insumos. Estas técnicas modernas de producción, requieren ser completadas con

estudios sobre épocas de aplicación y concentraciones nutrimentales más precisas para los cultivos, apoyadas en análisis foliares; así como la adecuación de la fertilización de acuerdo al contenido de iones presentes en el agua de riego (Hochmuth, 1992; Burn y Hammelin, 1993).

Es conveniente señalar que actualmente la investigación relacionada con aspectos de fertirrigación esta siendo objeto de grandes investigaciones en el país, con resultados altamente satisfactorios en producción y calidad de productos hortícolas, principalmente. En cultivos básicos, por desempeñar éstos más bien una función de tipo social y autoconsumo, la generación de tecnología en fertirrigación ha sido escasa y aún más lo ha sido la combinación de fertirrigación y labranza de conservación.

Recientemente en el estado de Sinaloa se están realizando trabajos de investigación sobre el uso de labranza de conservación y fertirriego en leguminosas, en donde se han obtenido resultados que permiten obtener incrementos en los rendimientos de estos cultivos en más del 50 %, sin embargo las investigaciones se han enfocado básicamente a medir el rendimiento del cultivo dejando a un lado los aspectos relacionados con la eficiencia en el uso del agua, la nutrición del cultivo y el efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Fundación Produce Sinaloa, 1999).

Al comparar los rendimientos de varios cultivos de grano en riego por gravedad y riego por goteo, se encontraron incrementos favorables al riego por goteo en: garbanzo 15%, cártamo 27%, soya 9% y frijol 27%. De manera general, se puede concluir de este estudio que los requerimientos de fertilizante y láminas de riego aplicadas a estos cultivos fueron 70% de los utilizados en el sistema de riego por gravedad (Mendoza, 2003).

La aplicación del fertilizante a través del riego por goteo, dosificado de acuerdo a la demanda del cultivo por etapa fenológica y el uso de la labranza de conservación han permitido obtener rendimientos que superan las cinco toneladas de frijol por hectárea, además de la obtención de grano de mejor calidad comercial (Jasso *et al* , 2002). La

eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes también fue significativamente mayor, cuando se comparó con el sistema tradicional de cultivo.

En maíz cultivado bajo el sistema de riego por goteo, la aplicación de altas concentraciones de nitrógeno y potasio combinadas con una alta densidad de plantas produjeron un rendimiento de 18.5 ton ha<sup>-1</sup> de grano, además de disminuir significativamente la lámina total de agua aplicada (Vuelvas, 1999). Por su parte González, *et al* en 1999, reportan un rendimiento potencial de 7.8 ton ha<sup>-1</sup> en maíz con fertirrigación y 6.2 ton ha<sup>-1</sup> en maíz con fertilización tradicional; en lo que se refiere a rendimiento real, la media con fertirrigación fue de 5.5 ton ha<sup>-1</sup> y de 3.78 ton ha<sup>-1</sup> con fertilización al suelo. Bosco en 1999, indicó que el riego por goteo en maíz, permitió tener un ahorro de agua del 50 % sin afectar el rendimiento del cultivo.

La preparación del suelo para la siembra es una parte fundamental del proceso de producción de los cultivos. La finalidad de esta práctica es la creación de características óptimas para el establecimiento y crecimiento de las plantas. La labranza se ha desarrollado tradicionalmente por dos razones: 1) remover la maleza y 2) propiciar un ambiente adecuado en el suelo para que la semilla pueda germinar, las plántulas puedan desarrollarse y donde las raíces obtengan los nutrientes, agua y aire necesarios para su crecimiento (Figuroa, 1982).

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 (Ángeles y Rendón, 1994). Reduce las pérdidas de nutrientes, incrementa la materia orgánica, la velocidad de infiltración, la flora y la fauna del suelo; consiste en utilizar la menor cantidad de maquinaria, a la vez que ayuda a mejorar el uso de los recursos utilizados, contribuyendo al equilibrio con el medio ambiente (Figuroa, 1982 y 1999).

La generación y transferencia de tecnología cuya tendencia general sea hacia el mejoramiento de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, conservación y optimización de los recursos naturales

(suelo y agua), y que paralelamente mejore la rentabilidad en la producción de granos básicos para la alimentación humana, es de gran importancia para alcanzar un desarrollo sostenible en la agricultura moderna.

## MATERIALES Y METODOS

Durante los ciclos agrícolas Primavera - Verano 2001 - 2003 se llevaron a cabo trabajos de investigación en terrenos del Campo Experimental San Luis del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), situado en el Km 14.5 de la carretera 57 tramo San Luis - Matehuala, ubicado en el ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí. El suelo del sitio experimental se clasifica como Castañozem de textura franco arcillo arenoso con 1.4% de materia orgánica, pH de 8.1 y CE de 0.81 dS m<sup>-1</sup>. El agua para riego posee una CE de 0.29 dS m<sup>-1</sup>, RASaj de 1.26, baja en salinidad y sodicidad.

Cuadro 1. Lista de tratamientos evaluados en frijol cultivado con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2001-2003.

Tratamiento No.	N Kg ha <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg ha <sup>-1</sup>	K <sub>2</sub> O Kg ha <sup>-1</sup>	Sistema de Riego	Sistema de Labranza
1	100	100	50	Goteo	LC <sup>1</sup>
2	150	100	50	Goteo	LC <sup>1</sup>
3	200	100	50	Goteo	LC <sup>1</sup>
4	100	100	100	Goteo	LC <sup>1</sup>
5	150	100	100	Goteo	LC <sup>1</sup>
6	200	100	100	Goteo	LC <sup>1</sup>
7	40	60	0	Goteo	LT <sup>2</sup>
8	40	60	0	Gravedad	LT <sup>2</sup>

LC<sup>1</sup> = labranza de conservación y LT<sup>2</sup> = labranza tradicional

Se evaluaron tres niveles de nitrógeno: 100, 150 y 200 kg ha<sup>-1</sup> y dos para potasio: 50 y 100 kg ha<sup>-1</sup>, los factores y niveles se combinaron factorialmente, generando seis tratamientos a los que se incluyeron dos testigos: 40-60-00

y riego por gravedad y este mismo tratamiento con riego por goteo, ambos con labranza tradicional, dando un total de 8 tratamientos (Cuadro 1). El fósforo y la densidad de plantas en los primeros seis tratamientos se mantuvieron constantes en  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $300 \text{ mil plantas ha}^{-1}$ , la preparación del suelo se realizó de acuerdo al sistema de labranza de conservación.

Para los tratamientos con labranza tradicional (LT) las labores de preparación del suelo consistieron en barbecho a 30 cm de profundidad con el arado de discos. Para los tratamientos de labranza de conservación (LC) se roturó el suelo con el implemento denominado "multiarado", implemento que tiene la particularidad de formar una buena cama de siembra y propiciar adecuada porosidad en el suelo sin invertir el perfil. Posteriormente se dio un paso de rastra en ambos métodos de preparación del suelo. En LT la distancia entre surcos fue de 0.8 m, mientras que en LC se construyeron camas de siembra con una separación de 1.60 m entre camas. Posteriormente se depositaron  $2.0 \text{ ton ha}^{-1}$  de rastrojo seco de maíz para cubrir aproximadamente en 30% la superficie del suelo.

Para la siembra se utilizó la variedad Flor de Mayo M-38. Variedad de hábito indeterminado, la floración y madurez varían en función de la época de siembra y de las características climáticas de la región. En siembras de verano florece entre 50 y 55 días y madura entre los 100 y 110 días, es tolerante a la roya, resistente al virus del mosaico común y tolerante a bacteriosis o tizón común. En condiciones favorables de suelo y clima como las del Bajío, y con un manejo adecuado, Flor de Mayo M-38 puede rendir hasta  $4 \text{ ton ha}^{-1}$ .

La siembra se realizó con tractor utilizando la sembradora para labranza cero Modelo OL-U. La semilla se depositó a una distancia de 0.08 m entre plantas y de 0.8 m entre hileras a una profundidad de 5 a 6 cm para los tratamientos de LT. Para los tratamientos de LC la semilla se depositó a una distancia de 0.08 m entre plantas y de 0.30 m entre hileras dobles. En este caso se establecieron cuatro hileras de plantas por cama de siembra.

La fertilización se aplicó a través del riego por goteo mediante un dispositivo venturi, el cual permitió dosificar la fertilización en forma individual a cada unidad experimental, con frecuencia de tres veces por semana y de acuerdo a la demanda del cultivo. El criterio para la aplicación del riego durante el ciclo 2001 se basó en muestreos gravimétricos para monitorear la humedad del suelo en los estratos 0-15 y 15-30 cm, tratando de mantener la humedad aprovechable entre 60 y 70%; mientras que durante 2002 y 2003 se utilizaron sensores de humedad colocados en las mismas profundidades del perfil del suelo y mantenidos en un rango de humedad que varió entre 15-25 cb.

En campo, los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental estuvo constituida por 3 camas de 1.60 m de ancho y 12.5 m de longitud y la útil por la cama central de 10 m de longitud. En el tratamiento que incluyó riego por gravedad y labranza tradicional, la unidad experimental fue de 6 surcos de 0.8 m de ancho y 12.5 de longitud, teniendo como parcela útil los dos surcos centrales de 10 m de longitud.

Durante el desarrollo del cultivo, periódicamente se realizaron muestreos de planta y sus diferentes órganos para estimar la producción de materia seca en cada uno de ellos, así como también determinar la concentración de nutrientes en el tejido vegetal, para finalmente con esta información generar las curvas de extracción de NPK. En los tratamientos de labranza de conservación y en labranza tradicional se realizaron muestreos de suelo en las profundidades 0-5 cm, 5-10 cm y 10-15 cm para determinar el porcentaje de materia orgánica y la biomasa microbiana. También se realizaron algunas determinaciones físicas, como velocidad de infiltración, densidad aparente y resistencia a la penetración. Al final de cada ciclo, se evaluó el rendimiento de grano y sus componentes. Se realizó un análisis de varianza para los ocho tratamientos y un análisis factorial para los seis primeros tratamientos. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS

### Velocidad de Infiltración

Una de las bondades de la labranza de conservación es el incremento en la velocidad de infiltración. La explicación a este efecto es que con el uso de la labranza de conservación, los agregados del suelo no se destruyen, manteniendo 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 ven beneficiadas, especialmente la velocidad de infiltración.

Los valores registrados durante la prueba de infiltración en los tratamientos con labranza tradicional (LT) y labranza de conservación (LC) al inicio del ciclo del cultivo no reportaron diferencias estadísticas significativas. En la Figura 1 se distingue que los valores registrados con LT y LC durante la prueba de infiltración fueron muy similares, con solo una tendencia favorable en LT, al incrementar hasta en  $1 \text{ cm hr}^{-1}$  el valor de infiltración en los primeros cinco minutos 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 ocasionó una destrucción de la porosidad en la superficie del suelo, razón por la cual la infiltración fue muy parecida a la registrada en LT. Al final del ciclo del frijol, la infiltración con LC, aun y cuando estadísticamente fue igual a la reportada en LT, manifestó un incremento mayor al 100% en la infiltración inicial (Figura 2). Este incremento en la velocidad de infiltración en LC se debió al hecho de que el suelo no se removió con aporques o escardas como en LT, por lo que la porosidad en LC se mantuvo por lo menos a lo largo del ciclo del cultivo.



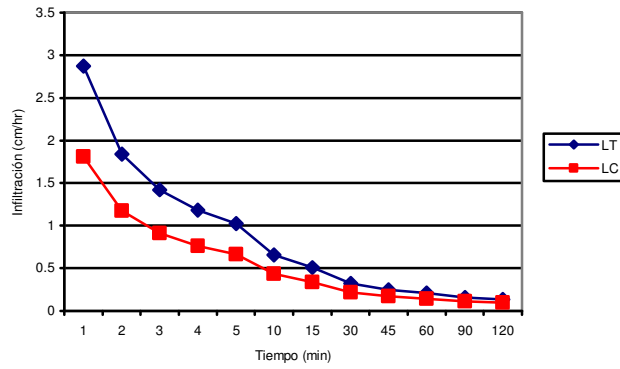


Figura 1. Efecto del sistema de labranza tradicional (LT) y de conservación (LC) en la infiltración en frijol cultivado en régimen de fertirriego. Determinación realizada al inicio del ciclo del cultivo. Campo Experimental San Luis. 2002.

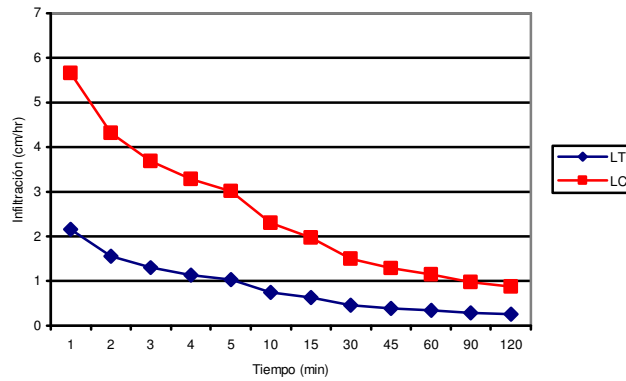


Figura 2. Efecto de sistemas de labranza tradicional (LT) y de conservación (LC) en la infiltración en frijol cultivado en régimen de fertirriego. Determinación realizada al final del ciclo de cultivo. Campo Experimental San Luis. 2002.

### Resistencia del suelo a la penetración

La resistencia del suelo a la penetración se midió en los estratos de 0-10 cm y de 10-20 cm de profundidad tanto en labranza de conservación como en labranza tradicional.

Para ello se utilizó un penetrómetro de martillo, los datos de número de golpes fueron transformados a  $\text{kg cm}^{-2}$  mediante la utilización de la ecuación  $Y=2.88X+2.38$ .

En la Figura 3 se observa que el suelo que fue sometido a labranza de conservación presentó valores menores de compactación en ambas profundidades, situación que era de esperarse, debido a que en labranza de conservación se dejó una cubierta de rastrojo de maíz sobre la superficie del suelo y se realizó menor movimiento de la capa arable durante la preparación del suelo. Diferencias mayores deberán presentarse en los siguientes ciclos de cultivo.

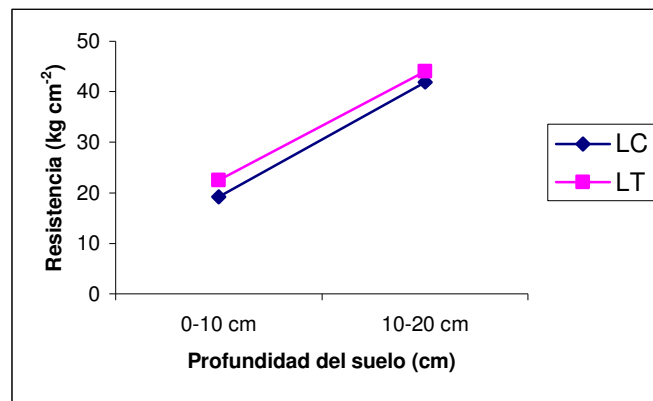


Figura 3. Resistencia del suelo a la penetración en sistemas de labranza tradicional (LT) y de conservación (LC) en frijol cultivado en régimen de fertirriego. Determinación realizada al final del ciclo de cultivo. Campo Experimental San Luis. 2002.

### **Materia orgánica (M.O.)**

Una de las propiedades que afecta favorablemente la labranza de conservación es el contenido de materia orgánica en el suelo. Los resultados del análisis de materia orgánica del suelo muestreados después de la cosecha para los estratos 0-5, 5-10 y 10-15 cm de profundidad se presentan en el Cuadro 2. Al comparar los porcentajes de M.O. determinados en los sistemas de labranza de conservación y labranza tradicional, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), por lo que se espera que estas diferencias sean mayores durante los siguientes ciclos de cultivo, una vez que la cubierta de rastrojo se haya mineralizado y parte de ella se integre a la M.O. del suelo.

### **Carbono en la biomasa microbiana**

La dinámica del contenido de carbono ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) en la biomasa microbiana del suelo, para los estratos 0-5, 5-10, 10-15 y 0-15 cm de profundidad, se presenta en el Cuadro 2. Al igual que para el caso de M.O., en este caso no existieron diferencias significativas entre sistemas de labranza ( $p \leq 0.05$ ), tampoco las hubo para las profundidades de suelo muestreadas.

### **Nitrógeno en la biomasa microbiana**

La dinámica del contenido de nitrógeno en la biomasa microbiana del suelo, en los estratos 0-5, 5-10 y 10-15 y 0-15 cm de profundidad, en los sistemas de labranza de conservación y labranza tradicional se presenta en el Cuadro 2. Aún y cuando el nitrógeno en la biomasa microbiana solo fue significativamente mayor para el sistema de labranza de conservación en el estrato 5-10 cm de profundidad, la tendencia general fue hacia una mayor acumulación de N en labranza de conservación en todas las profundidades de suelo muestreadas. También se observó la existencia de una mayor concentración de nitrógeno en el estrato 0 - 5 cm de profundidad del suelo, estrato en el que

se concentra la mayor cantidad de M.O. y de la actividad microbiana.

Cuadro 2. Dinámica de la materia orgánica, carbono y nitrógeno en la biomasa microbiana del suelo, en frijol cultivado en régimen de fertirriego. Campo Experimental San Luis. 2002.

Profundidad (cm)	M.O. (%)		C en biomasa microbiana (kg ha <sup>-1</sup> )		N en biomasa microbiana (kg ha <sup>-1</sup> )	
	LC	LT	LC	LT	LC	LT
0-5	2.2a	1.9a	806.9a	655.0a	25.9a	22.3a
5-10	2.2a	2.2a	747.4a	831.9a	17.6a	11.1b
10-15	2.3a	1.8a	800.0a	853.6a	10.8a	8.5a
0-15			2354.3a	2340.5a	54.4a	42.0a

LC= labranza de conservación

LT= labranza tradicional

### Rendimiento de frijol y sus componentes

Los resultados mostraron diferencias importantes en cuanto a rendimiento de grano y en sus componentes, como respuesta a la aplicación de los tratamientos de fertilización en riego por goteo y con labranza de conservación. El análisis de varianza reportó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para el número de vainas por planta y para el rendimiento de grano ( $p \leq 0.01$ ); para las demás variables no se detectaron diferencias significativas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en frijol cultivado con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2001-2003.

Componente	Pr>F	C.V.
Vainas por planta	0.0469*	17.38
Granos por vaina	0.9794	14.29
Peso de 100 granos	0.8527	4.79
Rendimiento de grano	0.0002**	11.23
Rendimiento de tazol	0.1415	14.3

\*\* Significativo al 0.01y \*Significativo al 0.05 de probabilidad

Al realizar la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para comparar los valores medios de las variables significativas se encontró que al aplicar la dosis de fertilización tradicional que se recomienda para frijol en riego por gravedad (40-60-00) a través del riego por goteo y dosificada durante el ciclo del cultivo, el rendimiento de frijol paso de 2.530 ton ha<sup>-1</sup> a 3.995 ton ha<sup>-1</sup>, representando un incremento del 58%.

El mayor rendimiento de grano se obtuvo al aplicar el tratamiento 200-100-50 en el agua riego y con labranza de conservación, cuyos rendimientos fueron del orden de 5.113 ton ha<sup>-1</sup> de grano ajustado al 12% de humedad. El rendimiento de este tratamiento superó en 102% al obtenido con el tratamiento tradicional y riego por gravedad (Cuadro 4), además de la obtención de mayor producción de tazol. Estos resultados concuerdan con los reportados por otros autores (González, *et al* 1999; Mendoza, 2003).

Cuadro 4. Prueba de medias para las variables significativas en frijol con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2001-2003.

Tratamiento	Vainas por planta	Rendimiento de grano (ton ha <sup>-1</sup> )
100-100-50-RG	18.50ab	4.744a
150-100-50-RG	14.10b	4.849a
200-100-50-RG	18.70ab	5.113a
100-100-100-RG	20.13ab	4.524a
150-100-100-RG	21.20ab	4.878a
200-100-100-RG	19.63ab	5.031a
40-60-00-RG	25.83a	3.995a
40-60-00-RGr	21.17ab	2.530b

Valores con la misma literal no son estadísticamente diferentes (Tukey 0.05)

RG= Riego por Goteo, RGr = Riego por Gravedad

Al analizar estadísticamente los seis primeros tratamientos de acuerdo a un factorial completo, sólo el factor K fue significativo para la variable número de vainas por planta (Cuadro 5). Los resultados confirman que en el cultivo de frijol, el sólo hecho de inyectar la dosis tradicional de fertilización en el riego por goteo y dosificarla durante el

desarrollo del cultivo por etapa fenológica contribuye de manera importante a incrementar el rendimiento de grano.

Cuadro 5. Análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en frijol con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2001-2003.

	Vainas por planta	Granos por vaina	Peso de 100 granos	Rend. de grano	Rend. de tazol
Factor N	0.560	0.837	0.343	0.258	0.522
Factor K	0.033*	0.782	0.862	0.640	0.555
Interacción	0.168	0.689	0.863	0.360	0.989
C.V.	15.37	13.39	4.51	12.05	15.18

\*Significativo al 0.05 de probabilidad

Los resultados obtenidos en este estudio permiten inferir que bajo las condiciones en que se realizó la investigación y para los rendimientos obtenidos, el tratamiento 100-100-50 fue suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo, por lo que aplicaciones mayores no afectaron significativamente los rendimientos de grano y tazol.

### **Curvas de extracción de NPK**

Las curvas de extracción de nutrientes proporcionan una idea acerca de las cantidades de nutrientes que los cultivos demandan a través de su ciclo biológico, por lo que son una herramienta fundamental en la programación del fertilizante a aplicar durante el desarrollo del cultivo. En la figura 4 se presentan las curvas de extracción de nutrientes para NPK en el cultivo de frijol variedad M-38 cultivado con fertirriego y labranza de conservación. Para NK podemos observar que la demanda de éstos nutrientes durante los primeros 45 días después de la siembra (dds) es muy baja, debido principalmente a que la planta está en el proceso inicial de desarrollo y la formación de biomasa es baja, comparada con las etapas posteriores. De los 45 a los 86 dds se presenta un período de alta demanda de NK, período

que abarca la pre-floración, floración e inicio de formación de ejote, etapas en que la velocidad de formación de biomasa y la capacidad fotosintética de la planta es también alta.

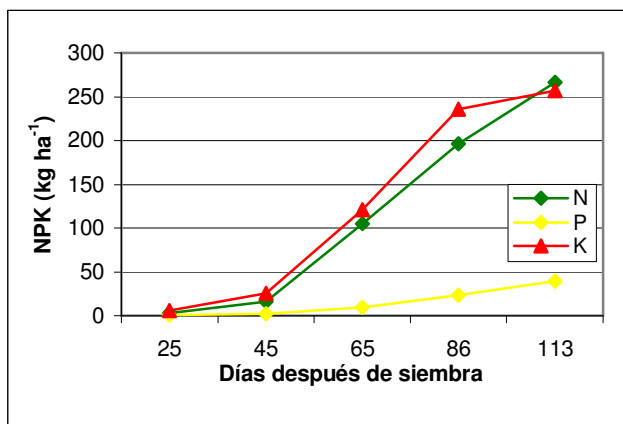


Figura 4. Curva de extracción de NPK en frijol cultivado con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2002.

Finalmente se observa un período en que la planta disminuye al mínimo el crecimiento de follaje y tallo, para enviar una mayor cantidad de nutrientes hacia la zona reproductiva para la formación y llenado de grano; particularmente el K es enviado en mayor concentración hacia el grano. En el caso del fósforo, la tendencia de extracción fue similar a la observada para NK, sólo que la demanda de la planta fue mucho menor durante todo el ciclo de cultivo, siendo esta menor a las 50 unidades ha<sup>-1</sup> (Figura 4).

Con el objeto de generar ecuaciones para predecir la extracción de NPK en frijol variedad M-38 cultivado en régimen de fertirriego y labranza de conservación durante el ciclo del cultivo, se ajustaron ecuaciones de predicción a las observaciones de los nutrientes en estudio. Las ecuaciones se muestran a continuación:  $N = - 0.0079X^2 + 2.1697X -$

70.262 con  $R^2 = 0.970$ ,  $P = 0.0039X^2 - 0.0727X - 1.1146$   
 con  $R^2 = 0.992$  y  $K = - 0.0071X^2 + 4.2421X - 115.73$  con  $R^2 = 0.934$ .

### Análisis económico

Los resultados del análisis económico para frijol se presentan en el Cuadro 6, en donde se obtuvieron los costos variables para los diferentes tratamientos. Con excepción del tratamiento 40-60-00 aplicado al suelo, con riego por gravedad y labranza tradicional, los demás tratamientos tuvieron una relación beneficio costo igual o superior a 2.0 (excepto el tratamiento 100-100-100), siendo el tratamiento 200-100-50 con riego por goteo y labranza de conservación el que originó la mayor relación B/C (2.13) lo que indica que por cada peso que el agricultor invierta en el proceso de producción de frijol, aplicando la dosis 200-100-50 a través del riego por goteo obtendrá 2.13 pesos, haciendo de esta manera atractiva la explotación de frijol. Es conveniente señalar que además de los costos de producción del cultivo, se incluyeron los costos del sistema de riego por goteo con un período de amortización a cinco años.

Cuadro 6. Análisis económico para los diferentes tratamientos evaluados en frijol cultivado con fertirriego y labranza de conservación. Campo Experimental San Luis. 2001-2003.

Tratamiento					Beneficio \$	Costos Variables \$	B/C
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Riego	Laboreo			
100	100	50	Goteo	LC	26,133	12,542	2.08
150	100	50	Goteo	LC	26,814	12,866	2.08
200	100	50	Goteo	LC	28,213	13,230	2.13
100	100	100	Goteo	LC	25,480	13,042	1.95
150	100	100	Goteo	LC	26,847	13,386	2.00
200	100	100	Goteo	LC	27,728	13,730	2.02
40	60	00	Goteo	LT	21,971	10,523	2.09
40	60	00	Gravedad	LT	14,563	11,100	1.31

LC= labranza de conservación y LT= labranza tradicional



Al incrementar las dosis de nitrógeno, fósforo e incluir una fertilización con potasio se incrementó el costo relativo de producción, el cual no fue compensado por un mayor incremento en la producción de tal manera que resultará poco atractivo para los productores aumentar la fertilización a dosis mayores de 100-100-50.

Es importante hacer notar que la aplicación del tratamiento de fertilización 40-60-00 para el cultivo de frijol en riego por gravedad con labranza tradicional, debido a su rendimiento limitado, las ganancias derivadas de su explotación son bajas, por lo que es de vital importancia la implementación de técnicas de producción modernas que contribuyan a la eficiencia del agua para riego y de los nutrientes, a la vez que sean capaces de originar altos rendimientos y mejor calidad de grano, y por ende la obtención de mayores beneficios derivados de la explotación de frijol en áreas de riego.

## **CONCLUSIONES**

Mediante el fertirriego y labranza de conservación se lograron obtener rendimientos que superaron en más del 100% al rendimiento obtenido con el tratamiento testigo, además de la obtención de grano de mayor calidad comercial.

La implementación de esta tecnología a nivel comercial, contribuirá de manera importante a hacer rentable el cultivo en las diferentes áreas productoras de frijol de riego en el estado, además de lograr una mayor eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes.

Se confirmó que las curvas de extracción de NPK serán una herramienta básica para realizar una adecuada fertilización, acorde a las necesidades del cultivo por etapa fenológica.

## LITERATURA CITADA

- Ángeles, J. M. y Rendón, P. 1994. Riego eficiente y labranza de conservación en una rotación trigo-sorgo para Guanajuato. México. 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Vol. 7b. Acapulco, Gro. pp 127-128.
- Bosco, G. M. J. 1999. Producción de maíz con riego por goteo. Tecnologías llave en mano. INIFAP. México, D.F. pp. 13-14.
- 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. K. O'Connor and T. Ruehr. 1998. Fertigation. The Irrigation Training & Reseach Center. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, CA, USA. 295 p.
- Cadahia, L. C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Barcelona. México. 475 p.
- Crovetto, L. C. 1998. Stubble Over the Soil. The Vital Role of Plant Residue in Soil Management to improve Soil Quality. American Society of Agronomy. 245 p.
- Figuroa, S. B. 1982. La investigación en labranza en México. Memorias del XV Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. México. 273 p.
- Figuroa, S. B. 1999. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. 273 p.
- Fregoso, T. L. E., J. R. Salinas G., J. M. Cabrera S., A. Flores, J. E. Morrison Jr., y W. Lepon. 2002. Efecto de sistemas de labranza sobre la calidad de vertisoles en el Bajío. Publicación Técnica No.1 CENAPROS-INIFAP-SAGARPA. 42 p.

- Fundación Produce de Sinaloa A. C., 1999. Uso de labranza de conservación y fertirriego en leguminosas. Culiacán, Sinaloa, México.
- González, M., G. Ramírez J., L. Pérez M., A. Turrent F. y J. Piña R. 1999. Maíz de alta productividad con fertigación en la zona henequenera. SAGAR. INIFAP. 22 p.
- Hotchmuth, G. J. 1992. Tomato fertilizer management: *In* Proceedings Florida Tomato Institute. C. S. Vavrina (ed.) SS HOS 1. IFAS. UF. 39 p.
- Hotchmuth, G. J. 1996. Fertigation of vegetables crops in Florida USA. *In* G Starhill (ed). Proceedings of Dahlia Greidinger International Symposium of Fertigation. Technion-Israel Institute of Technology. Haifa, Israel. pp 119-224.
- Jasso, Ch. C., Martínez G. M. A., H. D. Jesús and J.P. Mitchell. 2002. Increasing Corn and Bean Yields with Conservation Tillage and Fertigation in North-Central México. *In* Proceedings 2002 Annual Meetings. American Society of Agronomy.
- Lal, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture. Tropics versus temperate environments. *Advances in Agronomy* 42:85-197.
- Mannering, J. V. and C. R. Foster. 1983. What is conservation tillage? *J. Soil Water Cons.* 38:141-143.
- Matson, P.A., W.J. Paron, A.G. Power and M.J. Swift. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277: 504-509.
- Mendoza, R. J. L. 2003. Manejo de cultivos para grano mediante riego por goteo. Folleto Técnico núm. 18. INIFAP. 38 p.

- Nathan, R. 1995. La fertirrigación combinada con el riego. Notas del Curso Asociación Israelí de Cooperación Internacional. Ministerio de Agricultura. Estado de Israel. 51 p.
- Pizarro, C. F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia (goteo, microaspersión y exudación) 3ra edición. Edición Mundi-Prensa. Madrid, España. 469 p.
- Reeves, D. W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research* 43: 131-167.
- Rincón, S. L. 1991. Fertirrigación en cultivos hortícolas. *In: El agua y los fertilizantes*. Consejería de agricultura, Ganadería y Pesca, Región de Murcia, España. pp. 223-229.
- Vuelvas, C. M. A. 1999. Producción de maíz con riego por goteo. *In: Memorias Primer Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal*. pp. 57-64.

**La información de esta publicación se generó  
con el Proyecto de Investigación:**

1032371A Producción de altos rendimientos en maíz y frijol con fertirriego y labranza de conservación como estrategia de agricultura sostenible en el Altiplano Potosino.

En el proceso editorial de esta publicación participó el siguiente personal:

**Comité Editorial del  
Campo Experimental San Luis**

Presidente: Dr. Jorge Urrutia Morales  
Secretario: Dr. José Antonio Hernández Alatorre  
Vocal: Dra. Catarina Loredó Osti

**Revisión Técnica:**

Dr. Jorge Elizondo Barrón  
M.C. José Luis Barrón Contreras

**Tipografía:** T.S. María Teresa de Jesús Castilleja Torres  
**Formación:** M.C. José Luis Barrón Contreras  
**Fotografía:** Archivo del C. E. San Luis  
**Portada:** Ing. Guillermo Ruiz Vázquez  
Coordinador de Transferencia de  
Tecnología. Fundación Produce de San Luis  
Potosí, A.C.

**SAGARPA-INIFAP-CIRNE**

**Campo Experimental San Luis**

Km 14.5 Carr. San Luis Potosí-Matehuala  
Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.  
Oficinas: Av. Santos Degollado 1015 A  
Col. Cuauhtémoc, C.P. 78270  
San Luis Potosí, S.L.P.  
Teléfono (444) 8 13 79 23 y Fax (444) 8 13 91 51  
Correo electrónico: [jasso.cesario@inifap.gob.mx](mailto:jasso.cesario@inifap.gob.mx)

**GOBIERNO DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSI  
GOBERNADOR**

**C.P. Marcelo de los Santos Fraga**

**SECRETARIO DE DESARROLLO AGROPECUARIO Y  
RECURSOS HIDRAULICOS**

**Dr. Manuel D. Sánchez Hermosillo**

**DELEGACION ESTATAL DE LA SAGARPA  
DELEGADO EN SAN LUIS POTOSI**

**Ing. José Manuel Rosillo Izquierdo**

**FUNDACION PRODUCE DE SAN LUIS POTOSI, A. C.  
PRESIDENTE**

**Ing. Antonio Juan Chemás García**

**SECRETARIO**

**M. C. José Luis Barrón Contreras**

**TESORERO**

**Ing. Carlos T. Velázquez Osuna**

**GERENTE**

**Ing. Horacio A. Sánchez Pedroza**

**PRESIDENTE DEL CONSEJO CONSULTIVO  
REGION ALTIPLANO**

**Sr. Jaime Esquivel Castro**



**LA INFORMACIÓN DE ESTA PUBLICACIÓN  
Y SU IMPRESIÓN FUERON CO FINANCIADAS  
POR:  
FUNDACIÓN PRODUCE DE SAN LUIS POTOSÍ, A.C., Y  
INSITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,  
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

**FPSLP  
FUNDACIÓN PRODUCE DE SAN LUIS POTOSÍ, A.C.  
AV. SANTOS DEGOLLADO No. 1015 altos  
COL. CUAUHTEMOC, C.P. 78270  
TEL. / FAX (444) 813- 3972 / 811-0185  
SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P.  
fundprodsl@prodigy.net.mx**

**FPSLP  
COORDINACIÓN REGIONAL ZONA HUAASTECA  
CARR. NACIONAL SUR No. 202, Local 5, esq. 2ª. Av.  
FRACC. LOMAS ORIENTE, C.P. 79090  
TEL. / FAX (481) 382-4228  
CD. VALLES, S.L.P.  
fundapro@prodigy.net.mx**