

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE LABRANZA DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN EN LA ASOCIACIÓN MAÍZ-FRÉJOL VOLUBLE



Conservar y mejorar los suelos es tarea de todos

Evaluación de Sistemas de Labranza de Suelos y Fertilización en la Asociación Maíz-Fréjol voluble

Ing. Agr. M.Sc. Franklin Valverde
Ing. Agr. Mario Ramos
Ing. Agr. Soledad Estrada
Ing. Mec. M.Sc. Juan Silva
Ing. Mec. M.Sc. Washington Ruales
Agr. Rafael Parra

PROYECTO INIAP-PROMSA IQ-CV-096

Evaluación de Sistemas de Labranza y Prueba de Equipos para Siembra Directa en Maíz y Fréjol de La Región Andina del Ecuador

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)
Estación Experimental Santa Catalina (EESC)

Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA)

Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios (PROMSA)

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

Instituto Tecnológico Superior Agropecuario (ITSA) Puruhá

Revisión Técnica del texto:

Comité de Publicaciones de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP

Boletín Técnico:

No. 121

Editorial:

TECNIGRAVA (telf. 2953786 • Quito)

Redacción y Estilo:

Lcda. Shirma Guzmán

Quito - Ecuador

2004

PRESENTACIÓN

El Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina, conciente de la problemática a la que se enfrenta el sector agrícola, en lo referente a la degradación de los suelos de ladera en la Sierra ecuatoriana, por el uso intensivo con cultivos de ciclo corto, implementó 2 ensayos experimentales donde se investigó alternativas de siembra que permitan rescatar y preservar este recurso natural. Entre las alternativas evaluadas para reducir la remoción del suelo, y a la vez, el deterioro del mismo, tenemos la aplicación de los Sistemas de Labranza de Conservación Cero y Mínima.

Los resultados obtenidos de las investigaciones respectivas demuestran que estos sistemas son alternativas eficientes para controlar la erosión del suelo, además que son de fácil aplicación y de buena rentabilidad

El objetivo de esta publicación es difundir los resultados de la investigación experimental a extensionistas, técnicos, investigadores, profesionales, estudiantes y agricultores en general.

La investigación fue realizada por técnicos del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas del INIAP con el aporte de la Egda. Soledad Estrada; se financió con el apoyo del Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios (PROMSA/MAG), además de la colaboración de varias instituciones como la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo (ESPOCH) y el Instituto Tecnológico Superior Agropecuario (ITSA) Puruhá-Quimiag-Chimborazo.

INTRODUCCIÓN

Los cultivos de maíz y fréjol en asocio son de gran importancia para la economía y seguridad alimentaria del agricultor y de la población de la Sierra ecuatoriana. De acuerdo al III Censo Agropecuario (INEC, MAG y SICA, 2002), en el Ecuador se destinan a este sistema de producción un total de 48 036 ha, correspondientes a 86 816 Unidades de Producción Agrícolas (UPAS); con una productividad de 125 kg/ha de fréjol y 418 kg/ha de maíz suave seco. Estos bajos rendimientos se deben en gran medida a la baja fertilidad de los suelos.

El suelo es el recurso natural básico necesario para la producción de la mayoría de alimentos. En la agricultura abastece de nutrientes y sirve de soporte a las plantas. La capa superficial es la más fértil y presenta la mayor actividad biológica, fundamental para la producción agrícola. Sin embargo, la acción de factores como la lluvia, el viento y el manejo inadecuado de maquinarias e implementos agrícolas por parte del hombre, ocasionan la erosión de los suelos. Este deterioro paulatino de la capa arable disminuye la fertilidad del mismo y conduce a su degradación.

En el Ecuador la erosión del suelo es un problema que afecta al 50% de las tierras (12'355 500 ha). Aproximadamente, el 15% de las tierras degradadas se encuentran en el callejón interandino y sobre las vertientes que lo bordean. Las pérdidas de suelo por erosión, en tierras agrícolas, llegan a 80 tm/ha/año (Vogel, 2000).

Entre las principales causas para la degradación de los **suelos de ladera** en el Ecuador, se destaca la aplicación de sistemas de labranza que usan técnicas inadecuadas para la preparación del suelo; como es el sistema de **Labranza Convencional**, que es el conjunto de operaciones primarias y secundarias realizadas para preparar una cama de siembra previa a la instalación de un cultivo. Con el paso de la maquinaria agrícola a favor de la pendiente, se produce arrastre de suelo y la remoción de la tierra deja la capa superficial expuesta a la acción de la erosión hídrica.

La búsqueda de alternativas viables que aporten a un desarrollo agrícola equilibrado de los terrenos cultivables de la serranía, con una reducción del daño ocasionado a la naturaleza, son la implementación de los Sistemas de Labranza de Conservación, ya que brindan la posibilidad de reducir la degradación de los suelos. Estos sistemas se caracterizan por mantener residuos en la superficie del suelo y ocasionar una mínima remoción del mismo. Entre los más utilizados tenemos:

Labranza Mínima. Consiste en labrar sólo la zona donde se va a depositar las semillas. Usa implementos a tracción motriz como la sembradora fertilizadora; tracción animal con el arado de cincel y el arado de madera; y manual con el azadón.

Labranza Cero. Este método consiste en abrir un pequeño agujero en el suelo, espacio suficiente para enterrar el fertilizante y la semilla. Los implementos que usa son el espeque, pala, matraca y azadón.

La Labranza de Conservación ofrece una variedad de ventajas; sin embargo, si se considera la baja fertilidad de los suelos de ladera por efecto de la erosión, es necesario complementar con mecanismos de fertilización que permitan incrementar los rendimientos de los cultivos.

El objetivo general del estudio fue: Evaluar diferentes Sistemas de Labranza de Suelos y Fertilización, en la asociación Maíz-Fréjol; se plantearon objetivos específicos como: Cuantificar el efecto de los Sistemas de Labranza Convencional, Mínima y Cero sobre las características físicas del suelo. Evaluar el comportamiento agronómico del maíz y fréjol voluble en asociación, bajo diferentes sistemas de labranza y fertilización edáfica y foliar. Determinar los beneficios económicos de las diferentes alternativas de labranza y fertilización química.

METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó en 2 localidades de la zona maicera de la Sierra. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ubicación de los ensayos en la asociación Maíz-Fréjol. 2003

Ubicación	Localidad 1	Localidad 2
Provincia	Chimborazo	Pichincha
Cantón	Riobamba	Mejía
Parroquia	Quimiag	Cutuglagua
Localidad	ITSA Puruhá	INIAP Sección Oriental
Latitud	1° 38' 42" S	0° 22' 36" S
Longitud	78° 34' 00" O	78° 32' 14" O

Según el Mapa de Suelos del Ecuador (MAG, 1982), el suelo de la provincia de Chimborazo pertenece al orden Molisol, suborden Udoll y gran grupo Argiudoll. En la provincia de Pichincha, el suelo pertenece al orden Andisol, suborden Udand y gran grupo Hapludand. En el Cuadro 2 se presentan las características agroclimáticas de las 2 localidades en estudio.

Cuadro 2. Características agroclimáticas de las 2 localidades. 2003

Características	Chimborazo ITSA "Puruhá"	Pichincha EESC Sección Oriental
Altitud	2 754 msnm	2 670 msnm
Temperatura media anual	12°C	16°C
Precipitación media anual	663 mm	1 200 mm
Humedad relativa	71%	89%

Fuente: INAMHI, 2003.

Los factores en estudio fueron: **Sistemas de Labranza** (Convencional, Mínima y Cero) y **Fertilización**, las que se describen a continuación:

F0 = Testigo absoluto.

F1 = Fertilización Edáfica (80-40-30-15 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O-S), en base al análisis.

F2 = Fertilización Edáfica + quelato de Zn (9% Zn), 3 aplicaciones de 2 kg/ha cada una.

F3 = Fertilización Edáfica + Foliar completo (0.03% Zn), 3 aplicaciones de 2 kg/ha cada una.

En el Cuadro 3 constan los tratamientos provenientes de la combinación de los factores en estudio.

Cuadro 3. Tratamientos para evaluar el efecto de los sistemas de labranza y fertilización en la asociación Maíz-Fréjol. Chimborazo y Pichincha, 2003.

No.	Codificación	Tratamientos	
		Labranza	Fertilización
1	L1F0	Labranza convencional	Testigo
2	L1F1	Labranza convencional	Fertilización edáfica
3	L1F2	Labranza convencional	Fertilización edáfica + quelato de Zn
4	L1F3	Labranza convencional	Fertilización edáfica + foliar completo
5	L2F0	Labranza mínima	Testigo
6	L2F1	Labranza mínima	Fertilización edáfica
7	L2F2	Labranza mínima	Fertilización edáfica + quelato de Zn
8	L2F3	Labranza mínima	Fertilización edáfica + foliar completo
9	L3F0	Labranza cero	Testigo
10	L3F1	Labranza cero	Fertilización edáfica
11	L3F2	Labranza cero	Fertilización edáfica + quelato de Zn
12	L3F3	Labranza cero	Fertilización edáfica + foliar completo

Se utilizó el diseño de Parcelas Divididas, con 3 repeticiones, las parcelas grandes correspondieron a sistemas de labranza y las subparcelas a las fertilizaciones. La unidad experimental fue de 6.40 m de largo y 4 m de ancho (5 surcos). Para la parcela neta se consideró los 3 surcos centrales eliminando un sitio de siembra a cada lado.

Las variedades utilizadas fueron: En Chimborazo, Maíz INIAP 102 "Blanco blandito mejorado" y Fréjol voluble INIAP 421 "Bolívar". En Pichincha, Maíz INIAP 122 "Chaucho mejorado" y Fréjol SCC2.

Las variables evaluadas se describen a continuación:

- **Humedad gravimétrica.**- A la siembra, 60 días después de la siembra (dds), floración y cosecha de cada especie. Las muestras de suelo se tomaron, con un barreno de torniquete, a 2 profundidades (de 8 a 12 cm, y de 20 a 24 cm), luego se las colocó en cajas metálicas para llevarlas a la estufa a 105°C por 24 horas.
- **Densidad aparente.**- A la siembra y cosecha del maíz; las muestras de suelo se tomaron a 2 profundidades (de 8 a 12 cm, y de 20 a 24 cm), con un barreno que contiene un cilindro de 68.19 cm³ de volumen (Foto 1). Las muestras se colocaron en la estufa a 105°C por 24 horas.



Foto 1. Recolección de la muestra de suelo para densidad aparente

- **Compactación.-** Se evaluó al inicio y final del ensayo a 5 profundidades (0-10, 11-20, 21-30, 31-40 y 41-50 cm). La Foto 2 muestra el procedimiento de medición de la compactación del suelo usando el penetrómetro de lectura directa.



Foto 2. Medición de la compactación del suelo con el Penetrómetro en kgf/cm^2

- **Variables agronómicas:** Porcentaje de acame, rendimiento de grano de maíz y fréjol, y peso de materia seca de rastrojo. Al final se realizó el análisis económico en base al Presupuesto Parcial del CIMMYT, (1988).

Manejo del experimento

Análisis químico de suelos, previo a la instalación de los ensayos, para formular recomendaciones adecuadas de fertilización.

Para iniciar la investigación se seleccionaron lotes con rastrojo de cebada en Pichincha y avena en Chimborazo (Foto 3). Estos residuos quedaron en la superficie del suelo en las parcelas con Labranza Mínima y Cero. Ocho días antes de la siembra se aplicó el herbicida Glifosato en dosis de 2 l/ha en las parcelas en estudio.



Foto 3. Rastrojo de avena en labranza Cero y Mínima. Chimborazo, 2003

En Chimborazo, para sembrar con Labranza Convencional se preparó el suelo con el arado ecuanino halado con yunta; en Pichincha se utilizó tractor con arado y rastra. El surcado fue manual.

A la siembra se adicionó todo el fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) recomendado de acuerdo al análisis químico de suelos, más el 50% de nitrógeno (N). En Labranza Convencional y Mínima se aplicó a chorro continuo, al fondo del surco. En Labranza Cero el fertilizante se depositó en el hoyo y se tapó con una capa delgada de suelo.

En el Sistema de Labranza Convencional se aplicó 20 kg N/ha a los 45 días después de la siembra (dds) a chorro continuo, a una distancia de 10 cm de las plantas y se incorporó con la deshierba; el resto del nitrógeno se aplicó a los 70 dds. En Labranza Mínima y Cero se aplicó en la corona de las plantas sin incorporar el fertilizante.

Los abonos foliares se aplicaron a los 60 dds, a la floración del fréjol y en la formación de vainas en dosis de 2 kg/ha de cada fuente.

La distancia de siembra de Maíz y Fréjol se realizó a 0.80 m entre surcos y 0.80 m entre plantas, con 4 semillas de maíz y 3 semillas de fréjol por golpe (Foto 4). A los 30 dds se raleó dejando 3 plantas de maíz y 2 de fréjol con un total de 46 875 plantas de maíz/ha y 31 250 plantas de fréjol/ha. Esto se realizó en los 3 sistemas de labranza.



Foto 4. Siembra de Maíz - Fréjol en labranza cero con pala. Chimborazo, 2003

En todo el ensayo; en pre-emergencia se aplicó el herbicida Afalón (i.a. Linurón) en dosis de 1.5 l/ha. A los 60 dds en Labranzas de Conservación se aplicó con pantalla 2 l/ha de Paraquat, y se complementó con deshierba con la hoz para eliminar las malezas presentes entre las plantas. En Labranza Convencional se realizó la deshierba con azadón.

Para el control de gusanos de la mazorca (*Heliothis zea* y *Euxesta eluta*) se aplicó aceite comestible, cuando el cultivo alcanzó el 30% de aparición de los estigmas, 15 días después se realizó una segunda aplicación. La dosis por mazorca fue de 2 a 3 gotas en el lugar de la salida de los estigmas (Foto 5).



Foto 5. Aplicación de aceite comestible para el control de los gusanos del choclo

La cosecha del maíz y fréjol se realizó a la madurez fisiológica de cada uno. En el caso del fréjol se hizo 2 cosechas debido a la maduración gradual de las vainas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis químico de suelos

Los resultados del análisis químico de suelos (Cuadro 4) indican que la disponibilidad de Zinc (Zn) en las dos localidades es baja, siendo uno de los factores limitantes para la producción de Maíz y Fréjol. Esta situación es muy común en los suelos de la sierra ecuatoriana, como lo señala el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP.

Cuadro 4. Análisis químico de los suelos de Chimborazo y Pichincha, 2003.

Localidad	pH	%		ppm				Meq/100 ml			ppm				
		MO	N	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B		
Chimborazo	6.1 L.ác.	8.4 A	89 A	109 A	15 M	0.56 A	10 A	1.9 A	2 B	8.8 A	105 A	5.2 M	1.3 M		
Pichincha	6.4 L.ác.	2.4 B	95 A	13 M	4 B	0.26 M	5 A	1.1 M	1.1 B	4.3 A	107 A	2.8 B	0.2 B		

A = alto

M = medio

B = bajo.

Fuente: Laboratorio de Química de Suelos de la E.E. Santa Catalina - INIAP

En base a estos resultados se realizó la recomendación de fertilización de 80 kg/ha de N, 40 kg/ha de P_2O_5 , 30 kg/ha de K_2O y 15 kg/ha de S.

Humedad gravimétrica

El análisis de varianza (ADEVA) realizado para la humedad gravimétrica en la provincia de Chimborazo, detectó diferencias significativas al 1% para sistemas de labranza, a la floración del fréjol y cosecha de maíz.

La Prueba de Tukey al 5% para Sistemas de labranza a la floración del fréjol, detectó dos rangos de significación; en el primero (a) se ubicó Labranza Mínima con 10.20% de humedad gravimétrica y en el segundo rango (b) compartieron las Labranzas Cero y Convencional con 8.76% y 7.75% respectivamente. A la cosecha de maíz; en el primer rango compartieron las Labranzas de Conservación Mínima y Cero con 10.44% y 10.07% de humedad; en el segundo rango se ubicó Labranza Convencional con 6.19%.

Durante el ciclo de cultivo, se observó una tendencia de los Sistemas de Labranza Mínima y Cero a retener mayor humedad en el suelo (Figura 1). Esto se debe a la presencia del rastrojo de avena que quedó en la superficie del suelo desde la cosecha anterior; estos residuos impiden el contacto directo de los rayos solares con las partículas de suelo; lo cual reduce el calentamiento del mismo y por consiguiente la evaporación.

La máxima diferencia de humedad gravimétrica entre la Labranza Convencional y la de Conservación se obtuvo a la cosecha del maíz con 4.06% de humedad, correspondiente a la época más seca durante el ciclo del cultivo. Estos resultados corroboran lo expresado por Bolaños (1989), quien indica que en general, la cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo, bajo Labranza Cero es mayor

que bajo Labranza Convencional, especialmente en tiempos de sequía, como los que se presentaron en esta localidad.

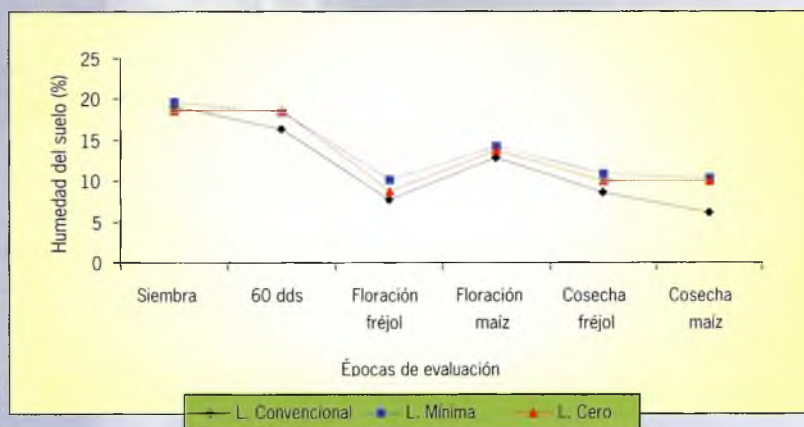


Figura 1. Humedad gravimétrica registrada en cada sistema de labranza durante el ciclo de cultivo de Maíz-Fréjol. Provincia de Chimborazo, 2003

En Pichincha, donde la cantidad de rastrojo fue escasa, no hubo diferencias a favor de las Labranzas de Conservación. Se observó que a partir de la siembra, la Labranza Convencional fue la que retuvo mayor cantidad de agua en el suelo, se asume este efecto a que probablemente en este sistema hubo mayor remoción del suelo; como indican Larson y Osborne citados por Bolaños (1989), el uso de Labranza Convencional inicialmente afloja el suelo, lo que reduce la densidad aparente e incrementa el espacio poroso, aumentando la infiltración del agua.

Densidad aparente

La densidad aparente inicial en Chimborazo fue en promedio de 1.24 g/cm^3 y en Pichincha, de 1.37 g/cm^3 .

El análisis de varianza para densidad aparente del suelo a la cosecha del maíz en las 2 localidades, determinó diferencias altamente significativas para Sistemas de Labranza y para la comparación Labranza Convencional vs. Labranza de Conservación y profundidad.

En los 3 sistemas de labranza evaluados, los menores valores se presentaron en la capa superficial del suelo, lo que se explica porque la mayor remoción ocurrió justamente en ésta zona. Sin embargo, estos resultados no descartan las ventajas de las Labranzas de Conservación ya que, como manifiesta Bolaños (1989), al primer año ó segundo año después de modificar las prácticas de Labranza de Conservación y manejo, los suelos no han alcanzado un nuevo estado de equilibrio y están sujetos a cambios. El sistema de labranza convencional presenta valores menores de densidad aparente comparado a la labranza de conservación en las 2 localidades (Figura 2), debido a la remoción del suelo.

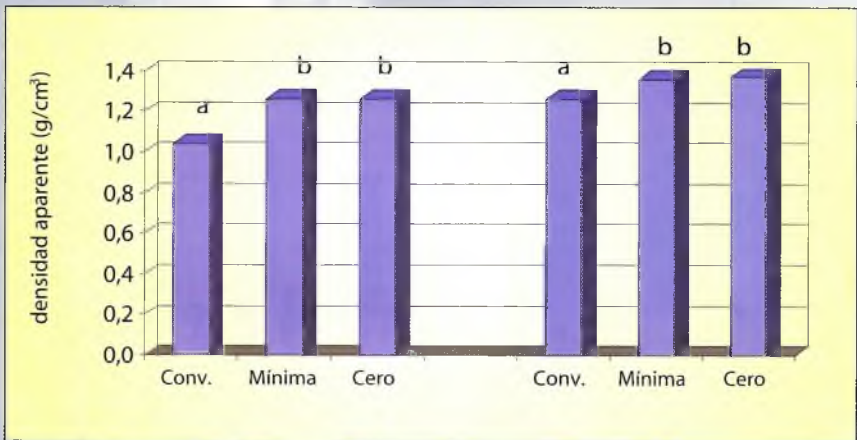


Figura 2. Efecto de los sistemas de labranza en la densidad aparente del suelo, en el asocio Maíz-Fréjol. Provincias de Chimborazo y Pichincha, 2003

La densidad aparente en Chimborazo a la profundidad de 8 a 12 cm fue de 1.15 g/cm³ y de 20 a 24 cm de profundidad se incrementó a 1.23 g/cm³, ocupando dos rangos diferentes según la Prueba de DMS al 5%. De igual manera, en Pichincha, la densidad aparente se incrementó de 1.29 a 1.37 g/cm³ por efecto de la profundidad.

Compactación

El análisis de varianza para compactación del suelo entre plantas a la finalización del ensayo en Chimborazo, determinó diferencias altamente significativas para Sistemas de Labranza y la comparación Labranza Convencional vs. Labranza de

Conservación y profundidad. La Prueba de DMS al 5% para la comparación Labranza Convencional vs. Labranza de Conservación, estableció dos rangos de significación, siendo Labranza Convencional la que se ubicó en el primer rango con una compactación promedio de 97.4 kgf/cm² y Labranza de Conservación en el segundo rango con 149.1 kgf/cm². En la Figura 3 se aprecia el efecto de los sistemas de Labranza y profundidad sobre la compactación del suelo en las 2 localidades.

El análisis de varianza de la compactación del suelo a la finalización del ensayo en Pichincha, no detectó diferencias significativas para Sistemas de Labranza. Mientras al analizar las diferentes profundidades, se determinó diferencias altamente significativas (Figura 3); observándose que la compactación del suelo se incrementa con la profundidad.

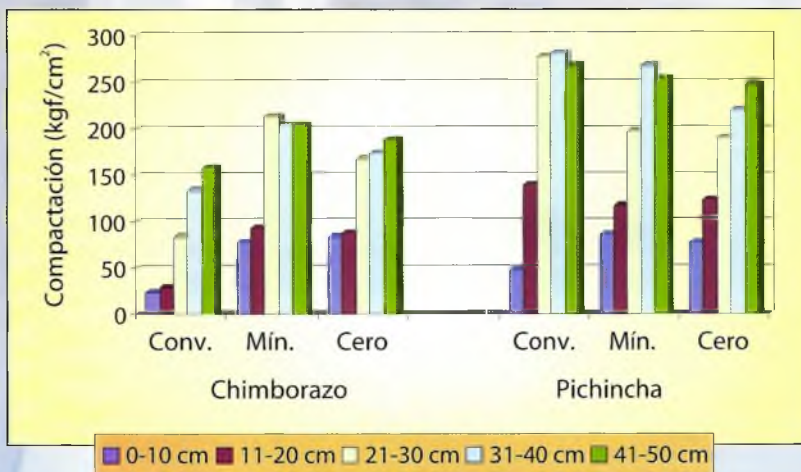


Figura 3. Compactación del suelo para sistemas de Labranza y profundidades, a la finalización de los ensayos. Provincias de Chimborazo y Pichincha, 2003

Al comparar los valores de compactación registrados al inicio de los ensayos, con los obtenidos en la cosecha de maíz, se observó que éstos fueron superiores debido al bajo contenido de humedad del suelo, esto es explicado por Quiroga, *et. al.* (1998), quienes indican que se ha comprobado una relación significativa entre resistencia a la penetración y humedad del suelo, más aún en Labranzas de Conservación que van ganando una mayor estabilidad estructural, lo que puede dar lugar a incrementar la resistencia a la penetración.

Acame

El porcentaje de acame de las plantas de maíz en las 2 localidades fue bajo (Figura 4). El análisis de varianza no presentó diferencias significativas para Sistemas de Labranza y Fertilización, siendo el promedio en Chimborazo de 2.20%, y en Pichincha de 3.80%. Los resultados encontrados demuestran que el aporque no redujo el acame en Labranza Convencional y que lejos de beneficiar al agricultor encarece los costos de producción, debido al mayor gasto en mano de obra requerido para esta labor cultural.



Figura 4. Efecto de los sistemas de labranza en el porcentaje de acame de plantas de maíz. Provincias de Chimborazo y Pichincha, 2003

Estos resultados demuestran que el maíz en labranza cero y mínima tiene la capacidad de soportar perfectamente al fréjol sin producir acame, no siendo necesario el aporque.

Rendimiento de maíz

El análisis de varianza del rendimiento de maíz en Chimborazo y en Pichincha (Cuadro 5) determinó la presencia de una diferencia altamente significativa para fertilización.

Cuadro 5. ADEVA para rendimiento de maíz en la asociación Maíz - Fréjol. Provincias de Chimborazo y Pichincha, 2003

F. de V.	G. de L.	CM	
		Chimborazo	Pichincha
Total	35	--	--
Repeticiones	2	2 054 495	1 491 757
Labranzas (L)	2	1 051 517 ^{ns}	1 149 438 ^{ns}
Error (a)	4	682 440	191 090
Fertilización (F)	3	4 196 168 ^{**}	7 897 351 ^{**}
LxF	6	403 236 ^{ns}	390 021 ^{ns}
Error (b)	18	477 987	195 009
Promedio (kg/ha)		3 418.7	2 196.7
CV % (a)		24.2	19.9
CV % (b)		20.2	20.1

ns= no significativo **= significativo al 1%

Los sistemas de labranza y la interacción sistemas x fertilización no presentaron diferencias significativas; la similitud de rendimiento entre labranzas (Figura 5) es respaldada por Bayer (1973), quien no encontró diferencia significativa en el rendimiento de maíz, entre la siembra sin laboreo del terreno y la siembra con labores previas, al realizar 23 experimentos en 8 tipos de suelos. Además Phillips y Young (1979) afirman que los investigadores de EEUU, Canadá y Europa han llegado a la conclusión de que los cultivos sin laboreo producen rendimientos por lo menos iguales y a veces superiores a los obtenidos con laboreo convencional.

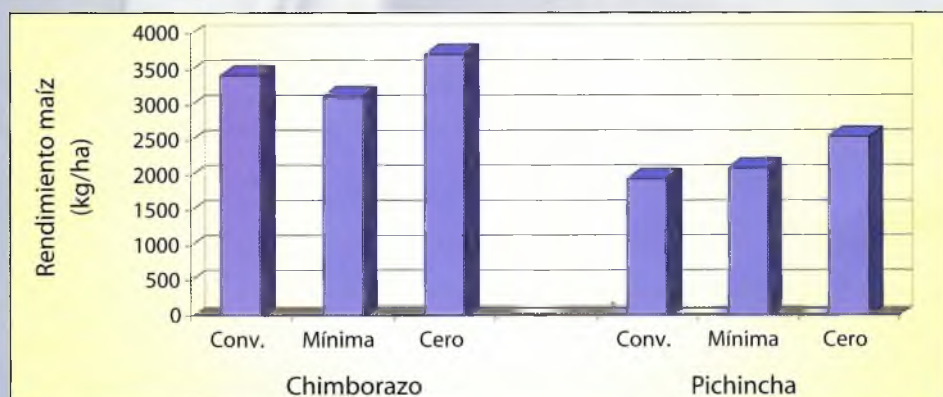


Figura 5. Rendimiento de maíz bajo diferentes sistemas de labranza en el asocio Maíz- Fréjol. Provincias de Chimborazo y Pichincha, 2003

La prueba de Tukey al 5% para Fertilización (Figura 6), estableció dos rangos de significación, siendo la Fertilización Edáfica + quelato de zinc la que alcanzó el mayor rendimiento de maíz con 3 873 kg/ha en Chimborazo y con 2 803 kg/ha de grano en Pichincha. En ambas localidades el testigo ocupó el último rango con los rendimientos más bajos de maíz.

El incremento en el rendimiento de maíz con la Fertilización Edáfica con respecto al testigo fue de 56% y 233% en Chimborazo y Pichincha, respectivamente. Estos resultados demuestran la importancia de aplicar el fertilizante al suelo, para incrementar el rendimiento de maíz en asocio con fréjol. Esto se debe a la baja fertilidad de los suelos (Cuadro 4) en los que se cultiva el Maíz-Fréjol en asocio.

A pesar de que no se observó diferencias estadísticas entre la Fertilización Edáfica (FE) sola y la aplicación complementaria con abonos foliares usando Zn y el foliar completo (FC), se observa que la fertilización foliar con zinc presentó los mayores promedios con incrementos en el rendimiento de maíz de 3.14% en Chimborazo y 4.51% en Pichincha.

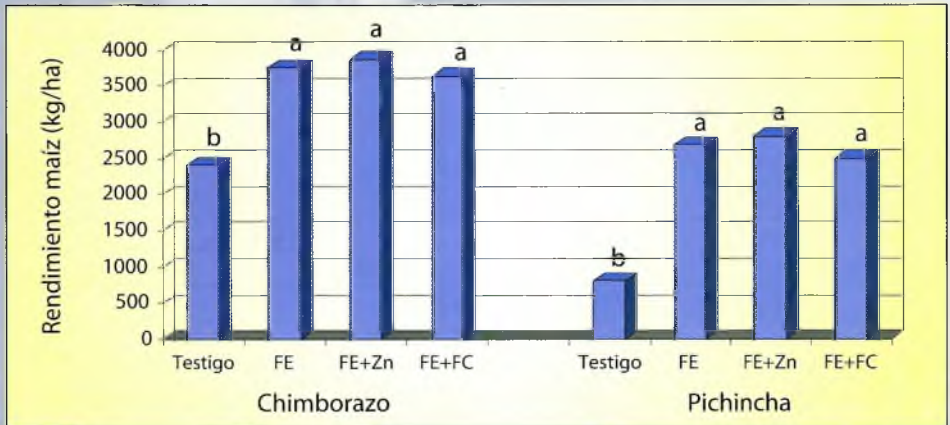


Figura 6. Efecto de la Fertilización Edáfica y foliar en el rendimiento de maíz en la asociación Maíz-Fréjol. Provincias de Chimborazo y Pichincha, 2003

El INPOFOS (1992) apoya este argumento al señalar que debido a la lentitud con la que penetran los nutrientes por vía foliar, éstos pueden ser lavados del follaje por la lluvia, el viento o por la simple acción de la gravedad; advierte que en aplicaciones tempranas, cuando hay poco follaje disponible, se estima que tan sólo del 10 al 30% de la solución aplicada es interceptada por el follaje, el resto cae al suelo.

Durante el ciclo del cultivo existieron períodos de sequía que posiblemente afectaron el rendimiento de maíz; así, la aplicación complementaria de nitrógeno con nitrato de amonio sin incorporar, no resultó tan efectiva, por lo que fue necesaria una segunda aplicación de nitrógeno. Lafitte (1989) confirma esto, al señalar que en los sistemas de conservación el aumento del enraizamiento en las capas superiores facilita que las plantas puedan utilizar de manera eficiente los nutrimentos concentrados en la superficie. No obstante, la absorción depende de que exista un grado adecuado de humedad en el suelo para que se de el flujo masal y la difusión. Si falta agua en la superficie, el cultivo no puede aprovechar el fertilizante ahí colocado.

Rendimiento de fréjol

Para Chimborazo, el análisis de varianza (Cuadro 6) realizado para la variable rendimiento de fréjol presentó diferencias altamente significativas para fertilización y para la comparación entre el testigo y los tratamientos fertilizados (Figura 8). Los sistemas de labranza no incidieron en el rendimiento de fréjol en Chimborazo (Figura 7), en el que la textura franca arenosa ayudó a un buen desarrollo radicular en todas las labranzas.

Cuadro 6. ADEVA para rendimiento de fréjol en la asociación Maíz-Fréjol. Provincias de Chimborazo y Pichincha, 2003

F. de V.	G. de L.	CM	
		Chimborazo	Pichincha
Total	35	--	--
Repeticiones	2	21 653	6 063
Labranzas (L)	2	51 323 ^{ns}	1 076 967 **
Error (a)	4	20 787	7318
Fertilización (F)	3	308 425 **	443 675 **
LxF	6	37 286 ^{ns}	132 879 **
Error (b)	18	22 891 .	13 673
Promedio (kg/ha)		796.4	620.4
CV % (a)		18.1	13.8
CV % (b)		19.0	18.8

ns= no significativo

**= significativo al 1%

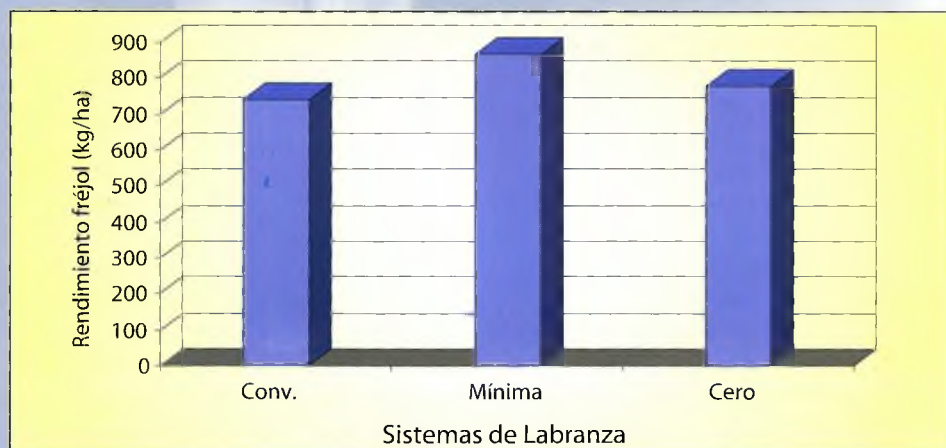


Figura 7. Rendimiento de fréjol bajo diferentes sistemas de labranza en el asocio Maíz-Fréjol. Provincia de Chimborazo, 2003

La Prueba de Tukey al 5% para Fertilización (Figura 8), determinó la presencia de 2 rangos de significación, siendo Fertilización Edáfica + Foliar Completo la que lideró el mejor rango con 922 kg/ha de fréjol y en el segundo rango se ubicó el testigo con 529 kg/ha. El incremento en el rendimiento con la fertilización edáfica con respecto al testigo fue del 54% en Chimborazo.

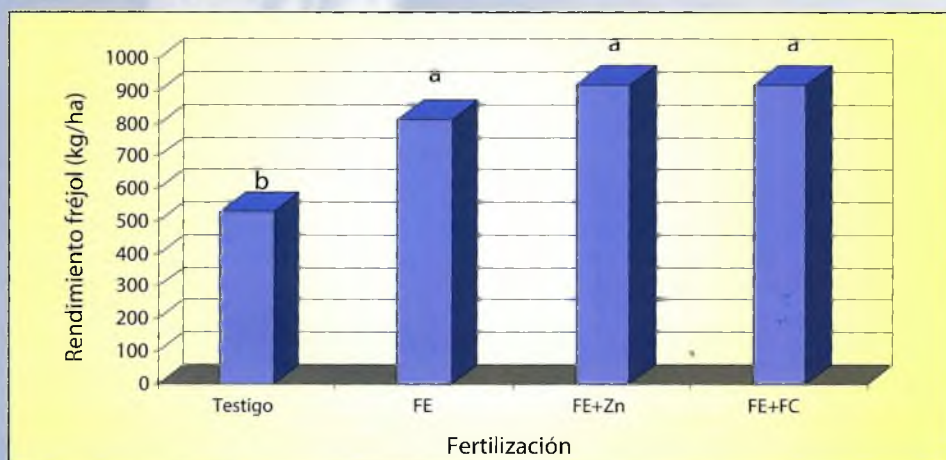


Figura 8. Efecto de la fertilización edáfica y foliar en el rendimiento de fréjol en la asociación Maíz-Fréjol. Provincia de Chimborazo, 2003

Entre la Fertilización Edáfica y la Fertilización Edáfica + Foliar, el mejor rendimiento promedio correspondió a la segunda con 921 kg/ha y la Fertilización Edáfica con 815 kg/ha, equivalente a un incremento en el rendimiento de fréjol del 13% en Chimborazo por efecto del foliar. Estos resultados demuestran que el fréjol responde mejor que el maíz a la fertilización foliar por las características físicas, morfológicas y genéticas de cada especie.

Es importante señalar que en el cultivo asociado se presentó una competencia interespecífica, puesta de manifiesto en el rendimiento; así, Labranza Mínima tuvo el menor rendimiento promedio de maíz; mientras que, este mismo Sistema de Labranza obtuvo el mejor rendimiento promedio de fréjol. López (1985), menciona que esta interacción dinámica entre los cultivos asociados conlleva a una mayor estabilidad de producción del sistema como un conjunto, y cuando el rendimiento de un cultivo disminuye, aumenta el rendimiento del otro.

En Pichincha, el análisis de varianza determinó diferencias altamente significativas para Sistemas de Labranza, Fertilización y la interacción entre éstas.

La Prueba de Tukey al 5% para la interacción entre sistemas de labranza y fertilización (Cuadro 7) determinó que el mejor tratamiento correspondió a Labranza Convencional con la Fertilización Edáfica + el Quelato de Zinc, el mismo que se ubicó en el rango (a) con un rendimiento promedio de fréjol de 1 314.4 kg/ha; en un segundo rango (b) comparten la Labranza Mínima con Fertilización Edáfica (853.9 kg/ha) y Labranza Mínima con Fertilización Edáfica + Foliar Completo (934.2 kg/ha). Al disminuir la remoción del suelo (Labranzas Mínima y Cero), hay una reducción drástica del rendimiento de fréjol principalmente cuando no se fertiliza; y es así, como se coloca en el último rango (g) la Labranza Cero sin Fertilización con 80.5 kg/ha.

En Pichincha, dadas las condiciones de mayor compactación del suelo, se observó que a mayor remoción, existió mayor rendimiento de fréjol. También, la respuesta del fréjol al abono foliar, cambia de acuerdo al Sistema de Labranza. En suelos de mediana fertilidad; la Fertilización Edáfica es importante para incrementar el rendimiento de fréjol.

El fréjol presenta un escaso sistema radicular, el que se ve afectado por la mayor compactación del suelo; en Pichincha, este efecto se manifiesta en el bajo rendimiento de los Sistemas de Labranza de Conservación. Según Tapia y Camacho, (1988), el rendimiento de fréjol en Labranza Cero es variable, siendo afectado por el régimen irregular de lluvias y por diferencias en los suelos.

Cuadro 7. Rendimiento promedio de fréjol y prueba de Tukey al 5% para la interacción entre sistemas de labranza y fertilización en el asocio maíz -fréjol. Provincia de Pichincha, 2003

Fertilización	L. Convencional	L. Mínima	L. Cero
	Kg/ha		
Testigo	667.2 bcd	139.5 fg	80.5 g
FE	837.1 bc	853.9 b	291.3 efg
FE + Zn	1 314.4 a	633.1 bcde	385.2 defg
FE + FC	819.6 bc	934.2 b	488.5 cdef

Lafitte (1989) indica que los efectos de las Labranzas de Conservación varían mucho; pues en algunos ensayos se ha obtenido un mejor rendimiento al reducir el nivel de labranza, mientras que en otros el efecto fue exactamente opuesto.

Peso de materia seca de rastrojo

El análisis de varianza del peso de materia seca de rastrojo en Chimborazo y Pichincha, determinó diferencias altamente significativas para fertilización, observándose un comportamiento similar al obtenido con el rendimiento de maíz.

De acuerdo al análisis químico de las muestras de rastrojo, los tratamientos fertilizados presentaron mayores contenidos de macro y micro nutrientes. Utilizando ésta información y con el peso de materia seca del rastrojo se calculó la cantidad de nutrientes que quedan en el suelo (Cuadro 8). Guerrero, (2001) afirma que solo una parte de nutrientes extraídos del suelo son exportados por la cosecha, el resto vuelve con el rastrojo, con lo que se está manteniendo y mejorando la fertilidad del suelo a mediano y largo plazo.

Cuadro 8. Promedio del aporte de nutrientes, según la producción de rastrojo y el análisis foliar de Maíz-Fréjol. Provincias de Chimborazo y Pichincha, 2003

Localidad	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg/ha					
Chimborazo	42.07	14.24	70.61	19.60	7.57	2.66
Pichincha	57.40	8.81	63.13	6.83	5.43	2.14

Los residuos acumulados en la superficie del suelo, reducen la erosión causada por la lluvia y el viento. Además, según lo manifestado por Barber (2000), al incrementar la cobertura del suelo con materiales orgánicos se aumenta el contenido de materia orgánica de los horizontes más superficiales y con ella la retención de agua en el suelo, la estabilidad de los agregados superficiales, la capacidad del suelo para retener nutrientes, la fijación de carbono y se estimula la actividad biológica del suelo.

Análisis económico

En Chimborazo, el análisis económico del Presupuesto Parcial (CIMMYT, 1998) en base al Total de Costos que Varían y los Beneficios Netos (Cuadro 9), determinó que Labranza Mínima sin fertilizante presentó la Tasa de Retorno Marginal (TRM) más alta con 870%; lo cual significa que por cada dólar invertido recupera 8.70 (ocho dólares 70/100 centavos). Al pasar de Labranza Mínima sin fertilizante a Labranza Cero + Fertilización Edáfica se obtiene una TRM de 651%, es decir que por cada dólar invertido recupera 6.51 (seis dólares 51/100 centavos). Los 2 Sistemas de Labranza de Conservación superan la Tasa Mínima de Retorno (TAMIR) del 100%; por lo tanto, las 2 son alternativas económicamente rentables para la producción de Maíz-Fréjol en asocio. Labranza Cero + Fertilización Edáfica + quelato de zinc, se ubica como una tercera alternativa con una TRM de 84%, con una utilidad de 0.84 (84/100 centavos de dólar) por cada dólar invertido; sin embargo no supera la TAMIR establecida para este estudio por lo cual no se recomienda como una alternativa rentable.

En Pichincha, (Cuadro 9), los tratamientos que superan la TAMIR de 100% son: Labranza Cero + Fertilización Edáfica con una TRM de 507% y Labranza Mínima + Fertilización Edáfica con una TRM de 1 622%, siendo los tratamientos económicamente rentables para el cultivo de Maíz-Fréjol en asocio, en esta localidad.

En Chimborazo y Pichincha, los Sistemas de Labranza de Conservación son los que presentan la mayor rentabilidad para la producción de maíz y fréjol en seco. Esto se debió a que los costos de preparación del suelo disminuyen sustancialmente en Labranzas de Conservación. Así Baumer (1998) explica este hecho al afirmar que los sistemas de bajo consumo de combustible como la siembra directa, ofrecen mayor estabilidad frente al aumento de precio. Además indica que las mayores diferencias en el consumo de energía entre los Sistemas de Labranza Convencional, Mínima y Cero se encuentran en la preparación del suelo, siembra y labores culturales.

Cuadro 9. Análisis Marginal de los ensayos de Sistemas de Labranza y Fertilización en Maíz-Fréjol en asocio. Provincias de Chimborazo y Pichincha, 2003

Tratamientos Labranza	Fertilización	Total de costos que varían (USD/ha)	Beneficios netos (USD/ha)	Tasa de retorno marginal (%)
Chimborazo				
Cero	Testigo	136	711	
Mínima	Testigo	150	833	870
Cero	FE	237	1 400	651
Cero	FE+FZn	300	1 453	84
Pichincha				
Cero	Testigo	136	94	
Mínima	Testigo	150	99	35
Cero	FE	237	541	507
Mínima	FE	251	768	1 622
Mínima	FE+FC	289	806	99
Convencional	FE+FZn	526	952	62

FE = Fertilización edáfica,

FZn = Foliar con Quelato de Zinc

FC = Foliar completo

Para el análisis económico se usó los costos de producción del año 2003, que fue cuando se realizó la investigación. Por lo tanto, las Tasas de Retorno Marginal pueden variar de acuerdo a cambios en los precios de los productos y los insumos.

CONCLUSIONES

- En Chimborazo, las Labranzas de Conservación presentaron mayor capacidad de retención de humedad en el suelo, debido a la mayor cantidad de rastrojo.
- A mayor remoción del suelo se obtiene menor densidad aparente y a mayor profundidad se encuentra mayor compactación.
- Las características agronómicas del asocio Maíz-Fréjol fueron afectadas solo por la Fertilización aplicada y no por el Sistema de Labranza empleado, a excepción del rendimiento del fréjol en Pichincha, que presentó mejor respuesta a la remoción del suelo bajo condiciones de mayor compactación.
- Los Sistemas de Labranzas de Conservación + la Fertilización Edáfica y Foliar presentan alta rentabilidad en el asocio Maíz-Fréjol.
- Las Labranzas de Conservación son alternativas válidas para el control de la erosión de los suelos en los que se siembra Maíz-Fréjol.
- Los Sistemas de Labranza, no influyen en el porcentaje de acame de las plantas de maíz, bajo asocio con fréjol.
- Los costos de producción en Labranza Cero y Mínima son menores que en Labranza Convencional.

RECOMENDACIONES

- Difundir y capacitar a los agricultores y productores de Maíz-Fréjol sobre el manejo de Labranza Cero y Mínima, con el fin de reducir la erosión del suelo.
- Fertilizar para obtener rendimientos satisfactorios del asocio Maíz-Fréjol voluble.
- Probar nuevas alternativas de fertilización en Labranzas de Conservación para mejorar su eficiencia, especialmente en aplicaciones complementarias de nitrógeno.
- Evaluar nuevas alternativas de control de malezas en los Sistemas de Labranza de Conservación de suelos, en el asocio Maíz-Fréjol.

BIBLIOGRAFÍA

1. B BARBER, R. 2000. Los principales tipos de labranza. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas. FAO. Roma. 59-80 pp.
2. BAUMER, C. 1998. Sistemas de labranzas y consumo de energía. Siembra Directa. Editorial. Hemisferio Sur. INTA. Buenos Aires, Argentina. 301-310 pp.
3. BAVER, L., GARDNER, W.H. y GARDNER, WR. 1973. Física de suelos. ed. Hispano-Americana. 4ta. ed. México. 529 p.
4. BOLAÑOS, J. 1989. Suelos en relación a la labranza de conservación: aspectos físicos. IX Seminario Labranza de conservación en maíz. ICA-PROCIANDINO. El Batán-México. 19-42 pp.
5. CIMMYT, 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D F., México.
6. ESTRADA, A. 2004. Evaluación de sistemas de labranza de suelos y fertilización en la asociación maíz-fréjol. Tesis de Grado. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito. 157 p.
7. GUERRERO, R. 2001. Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos. Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Editora Guadalupe LTDA. Segunda edición. Bogotá Colombia, 247-281 pp.
8. INEC, MAG, y SICA. 2002. III Censo Nacional Agropecuario. Resultados nacionales y provinciales. Volumen 1. Quito, Ecuador. 231 p.
9. INPOFOS. 1992. Informaciones agronómicas. No. 8. Julio. INPOFOS. A.S. Quito Ecuador. 4-8 pp.
10. LAFITTE, H. 1989. Efectos de la labranza mínima en el crecimiento y rendimiento del maíz. XI Seminario Labranza de conservación en maíz. ICA-PROCIANDINO. El Batán-México. 71-87 pp.
11. LÓPEZ, M., FERNÁNDEZ, F. y SCHOONHOVEN, A. 1985. Fríjol: investigación y producción. CIAT, PNUD. pp. 363-365.
12. MAG, 1982. Mapa de Suelos del Ecuador. Quito.

13. PHILLIPS, S. y YOUNG, H. 1979. Agricultura sin laboreo; labranza cero. Traducido del inglés por Enrique Marchesi. ed. Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 224 p.
14. QUIROGA, A., ORMEÑO, O. y PEINEMANN, N. 1998. Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos. Siembra Directa. ed. Hemisferio Sur. INTA. Buenos Aires, Argentina. 57-63 pp.
15. TAPIA, H. y CAMACHO, A. 1998. Manejo integrado de la producción de frijol basado en labranza cero. GTZ. Managua. 181 p.
16. VOGEL, A. 2000. Causas, efectos y formas de erosión de los suelos serranos. Manejo y conservación de suelos: la degradación del suelo y los cambios históricos. CAMAREN. Quito, Ecuador. 106 p.



Mayor información en:

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias

Estación Experimental Santa Catalina

Departamento de Manejo de Suelos y Aguas

Panamericana Sur Km 1

E-mail: dmsasc@punto.net.ec

Casilla: 17-01-340

Telefax: (02) 2 690 694

Quito - Ecuador