

EVALUACION AGRO-ECONOMICA Y ENERGETICA DE LA CAPACIDAD DE SUSTITUCION DE DIFERENTES METODOS DE LABOREO A DISTINTOS NIVELES DE FERTILIZACION NITROGENADA EN SISTEMAS DE MAIZ Y FRIJOL.

POR: Ing. Agr. Mag.Sci. Marco Antonio Maldonado\*  
Dr. Eduardo Loebolli\*\*

I INTRODUCCION:

El constante aumento de la población demanda una mayor cantidad de alimentos que actualmente no es satisfecho; en los trópicos reside el mayor potencial para solucionar este desbalance. Sin embargo, estas áreas presentan condiciones tan adversas como: topografía irregular, suelos muy erosionables y de baja fertilidad, abundancia de plagas, escasez de mano de obra, capital e insumos muy limitados y ninguna o muy poca investigación e información sobre sistemas de producción más eficientes y adecuados a las necesidades socio-ecológicas de los productores.

Estas condiciones motivan que los rendimientos de los cultivos, sean muy bajos, y si a esto se suman los altos costos, principalmente de la preparación del suelo, fertilizantes y control de malezas, la rentabilidad de las cosechas se ve seriamente afectada; de ahí, se hace patente la necesidad de investigar otras prácticas de manejo para mejorar la situación.

La técnica de cero laboreo ha demostrado varias ventajas sobre el laboreo tradicional, dentro de las cuales destacan: erosión mínima, pérdidas mínimas de humedad, mejor utilización de nutrimentos, mayores rendimientos y reducción de costos.

Si el cero laboreo aumenta los rendimientos y/o es económicamente más conveniente que el laboreo convencional, además es más eficiente en el uso de nutrimentos, una ventaja económica mayor aún podrá obtenerse con la utilización de cantidades de nitrógeno comparativamente menores que las requeridas por el laboreo convencional para producir el mismo rendimiento, o los mismos o mayores retornos económicos. Existiría la ventaja adicional del ahorro de energía fósil que eventualmente escaseará.

En base a lo anteriormente expuesto, se planificó la presente investigación con los objetivos siguientes:

OBJETIVOS

1. Determinar la capacidad de sustitución entre el laboreo convencional y el cero laboreo de acuerdo a cuatro niveles de fertilización nitrogenada, desde el punto de vista agronómico, energético y económico.
2. Determinar el efecto residual del fertilizante nitrogenado de acuerdo a los métodos de laboreo.

Las evaluaciones se realizaron sobre tres ciclos continuos de cultivos: maíz, maíz-frijol y maíz, analizándolos en forma individual y en forma conjunta, aquí se enfatizará la forma conjunta.

II MATERIALES Y METODOS:

El experimento se realizó en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, localidad que reúne como más importantes las características ambientales siguientes: Temperatura media anual de 22.2°C. Precipitación media anual de 2,674mm con un promedio de 251 días de lluvia, distribuidos entre mayo y diciembre. El mes más seco es marzo. La humedad relativa es un promedio de 88%. El lote experimental presentó textura arcillosa.

\* Este trabajo es parte de la tesis del Mag.Sci. de este autor

\*\* Ph.D. en malezas, científico del CATIE, profesor consejero.

EVALUACION AGRO-ECONOMICA Y ENERGETICA DE LA CAPACIDAD DE SUSTITUCION DE DIFERENTES METODOS DE LABOREO A DISTINTOS NIVELES DE FERTILIZACION NITROGENADA EN SISTEMAS DE MAIZ Y FRIJOL.

POR: Ing. Agr. Mag.Sci. Marco Antonio Maldonado\*  
Dr. Eduardo Loebolli\*\*

I INTRODUCCION:

El constante aumento de la población demanda una mayor cantidad de alimentos que actualmente no es satisfecho; en los trópicos reside el mayor potencial para solucionar este desbalance. Sin embargo, estas áreas presentan condiciones tan adversas como: topografía irregular, suelos muy erosionables y de baja fertilidad, abundancia de plagas, escasez de mano de obra, capital e insumos muy limitados y ninguna o muy poca investigación e información sobre sistemas de producción más eficientes y adecuados a las necesidades socio-ecológicas de los productores.

Estas condiciones motivan que los rendimientos de los cultivos, sean muy bajos, y si a esto se suman los altos costos, principalmente de la preparación del suelo, fertilizantes y control de malezas, la rentabilidad de las cosechas se ve seriamente afectada; de ahí, se hace patente la necesidad de investigar otras prácticas de manejo para mejorar la situación.

La técnica de cero laboreo ha demostrado varias ventajas sobre el laboreo tradicional, dentro de las cuales destacan: erosión mínima, pérdidas mínimas de humedad, mejor utilización de nutrimentos, mayores rendimientos y reducción de costos.

Si el cero laboreo aumenta los rendimientos y/o es económicamente más conveniente que el laboreo convencional, además es más eficiente en el uso de nutrimentos, una ventaja económica mayor aún podrá obtenerse con la utilización de cantidades de nitrógeno comparativamente menores que las requeridas por el laboreo convencional para producir el mismo rendimiento, o los mismos o mayores retornos económicos. Existiría la ventaja adicional del ahorro de energía fósil que eventualmente escaseará.

En base a lo anteriormente expuesto, se planificó la presente investigación con los objetivos siguientes:

OBJETIVOS

1. Determinar la capacidad de sustitución entre el laboreo convencional y el cero laboreo de acuerdo a cuatro niveles de fertilización nitrogenada, desde el punto de vista agronómico, energético y económico.
2. Determinar el efecto residual del fertilizante nitrogenado de acuerdo a los métodos de laboreo.

Las evaluaciones se realizaron sobre tres ciclos continuos de cultivos: maíz, maíz-frijol y maíz, analizándolos en forma individual y en forma conjunta, aquí se enfatizará la forma conjunta.

II MATERIALES Y METODOS:

El experimento se realizó en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, localidad que reúne como más importantes las características ambientales siguientes: Temperatura media anual de 22.2°C. Precipitación media anual de 2,674mm con un promedio de 251 días de lluvia, distribuidos entre mayo y diciembre. El mes más seco es marzo. La humedad relativa es un promedio de 88%. El lote experimental presentó textura arcillosa.

\* Este trabajo es parte de la tesis del Mag.Sci. de este autor

\*\* Ph.D. en malezas, científico del CATIE, profesor consejero.

## 1. Ciclos de Cultivo, Fechas de Siembra y de Cosecha:

Se utilizaron las variedades de maíz tuxpeño y de frijol CATIE-1. El primer ciclo fue maíz en monocultivo. Se sembró el 26 de julio de 1978 y su permanencia en el campo fue durante la época lluviosa.

El segundo ciclo se sembró el 20 de diciembre del mismo año y consistió en un asocio maíz-frijol y su permanencia en el campo fue durante la época seca; y el tercer ciclo fue maíz en monocultivo, se sembró el 14 de mayo de 1979 y su permanencia en el campo fue durante la época lluviosa.

La doble del maíz se realizó a los 100 días y se cosechó a los 120 días de la siembra. El frijol se cosechó a 90 días de sembrado. Las siembras se realizaron en forma manual.

## 2. Distancias y Densidades de Siembra:

Las distancias de siembra del maíz, en asocio y monocultivo fueron de un metro entre surcos y 0.5m. entre posturas, dejando dos plantas en cada una de ellas, para obtener una densidad de 40,000 plantas por hectárea.

El frijol se intercaló entre los surcos del maíz, sembrando dos surcos de frijol entre dos surcos de maíz. Las distancias de siembra fueron de 0.33m. entre surcos y 0.2m. entre posturas, dejando dos plantas en cada una de ellas, para obtener una población de 150,000 plantas por hectárea.

## 3. Tamaño de Parcela y Área Util:

La parcela experimental fue de cuatro metros de frente por 10 de largo (40m<sup>2</sup>), las evaluaciones y toma de datos en el caso del maíz sobre los dos surcos centrales, eliminando dos posturas en cada extremo, por lo que el área útil fue de 16m<sup>2</sup>. En el caso del frijol las evaluaciones se realizaron sobre los seis surcos de cada parcela, eliminando un metro en cada extremo, por lo que el área útil fue de 24m<sup>2</sup>.

## 4. Tratamientos:

El diseño experimental seleccionado fue un "Bloques completos al azar" en arreglo factorial, con tres manejos de la vegetación antes de la siembra y cuatro niveles de fertilización nitrogenada.

Además se incluyeron dos manejos a un solo nivel de fertilización, por lo que el total de tratamientos fue de 14. Se sembraron 4 repeticiones.

### 4.1 Manejos del Suelo y su Vegetación antes de la Siembra:

#### 4.1.1 Quema (Q)

Antes de cada ciclo de cultivo se chapó manualmente la vegetación existente dejándola sobre el suelo, y cuando se secó se quemó. La siembra se efectuó sobre las cenizas. En el maíz en monocultivo, el rebrote de las malezas se realizó con paraquat a razón de 0.5 Kg. de ingrediente activo por hectárea (Kg.i.a./Ha), aplicándolo a los 15 y 30 días después de la siembra (DDS). En el asocio el rebrote fue controlado manualmente y a los 15 DDS.

#### 4.1.2 Glyphosato (G):

Ocho días antes de las siembras se le aplicó a la vegetación existente el herbicida Glyphosato a razón de 1.44 Kg. de equivalente ácido por hectárea (Kg.e.a./Ha), no se realizó ninguna remoción de suelo y ningún control de malezas posterior.



#### 4.1.3 Laboreo Tradicional (A):

Consistió de un paso de arado de discos a una profundidad de 0.2m y dos de reastro. Los rebrotes de los maizos fueron controlados en la misma forma que en el manejo quema.

#### 4.1.4 Peraquet (P):

Antes de la siembra de cada ciclo se chapó manualmente la vegetación existente y la siembra se realizó al día siguiente. Los rebrotes de los maizos se controlaron en la misma forma que en la quema. Este manejo se incluyó solamente al nivel dos de fertilización.

#### 4.1.5 Limpie Manual (L):

Se manejó en la misma forma que el peraquet, con la diferencia que los rebrotes se controlaron manualmente. En el primer ciclo se realizaron dos limpiezas, a los 15 y 30 DDS y en los dos siguientes sólo una vez y a los 20 DDS. Este manejo se incluyó sólo al nivel dos de fertilización.

#### 4.2 NIVELES DE FERTILIZACION NITROGENADA:

Se emplearon cuatro niveles de fertilización nitrogenada: 0, 75, 150 y 225 kilogramos de nitrógeno por hectárea ( $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ , y  $N_3$  respectivamente). Los que fueron aplicados en dos épocas: 50% de la dosis a los 15 días y 50% restante a los 30 DDS.

Estos niveles de nitrógeno se aplicaron únicamente durante los dos primeros ciclos de cultivo y no se emplearon en el tercero, con el objeto de evaluar la residualidad de los dos aplicaciones anteriores. La fuente de nitrógeno empleada fue el nitrato de amonio al 33.5%.

#### 4.3 CONTROL DE INSECTOS:

Para el control de insectos del suelo se empleó Furadón al 2.5% a razón de 20 Kilos/Ha cuando se sembró maíz en monocultivo y 50 Kilos/Ha en el asocio. El insecticida se aplicó al momento de la siembra y junto con la semilla. Los insectos del follaje se controlaron solo en el asocio y con DDTOX a razón de dos litros/Ha.

### III RESULTADOS Y DISCUSION:

#### 1. Evaluación de Rendimientos:

##### 1.1 Primer ciclo, maíz en monocultivo:

En el cuadro 1, se observa que al pasar un grado aumentó la medida que se incrementó el nivel de fertilización, sin embargo, los medios de los niveles dos y tres fueron estadísticamente iguales y superiores a la media del nivel uno, y todos ellos superiores a la media del nivel cero.

Se observa también que el nivel cero y al 1% de probabilidad el arado rindió igual que los manejos de no laboreo, sin embargo al 5% de probabilidad y a los niveles cero, uno y dos los manejos Glyphosate y arado fueron iguales entre sí y superiores a la quema. Al nivel tres el glyphosate fue estadísticamente superior a la quema y arado.

Los manejos de no laboreo, limpio manual y peraquet al nivel dos de fertilización presentaron los rendimientos más altos, pero fueron estadísticamente superiores solo a la quema. La prueba de medias entre manejos indicó que el no laboreo con glyphosate rindió igual que el arado y ambos superaron a la quema.

De acuerdo a estos resultados, destaca el hecho de que el no laboreo con glyphosate fue igual al laboreo tradicional y los dos superaron a la quema, sin embargo, en los análisis económicos y energéticos se demostró que la quema es más rentable y eficiente que el manejo convencional.

## 1.2 Segundo Ciclo, Maíz y Frijol en Asocio:

### 1.2.1 Rendimientos de maíz:

En el cuadro 2 se observa que la quema rindió más que el glyphosate solo al nivel uno de fertilización, estos dos manejos de no laboreo rindieron más que el arado a cualquier nivel. La prueba de medias indicó que los medios de los manejos de cero laboreo fueron iguales entre sí y superiores a la media del arado.

El efecto altamente beneficioso sobre el rendimiento del maíz del no laboreo, en las condiciones secas (balance hídrico negativo) en que se condujo este ciclo de cultivo, se puede atribuir a la mejor conservación de la humedad del suelo por parte de estos manejos, ya que a los 40 días de la siembra estos manejos presentaban 40% y 39% de humedad gravimétrica, Glyphosate y quema, respectivamente, contra un 35% en las parcelas aradas. La mejor conservación de la humedad en el cero laboreo se deba a la cobertura orgánica que permanece sobre la superficie del suelo. Se encontró alta correlación positiva ( $r=0.999$ ) entre el rendimiento y la humedad del suelo, lo que confirma lo beneficioso de la conservación del agua en períodos críticos.

Entre niveles se observa (cuadro 2) que el rendimiento del maíz aumentó a medida que se incrementó la fertilización; sin embargo, los medios de los niveles uno, dos y tres fueron estadísticamente iguales y superiores a la media del nivel cero.

Al nivel dos de fertilización los medios del Paraquat y Limpia Manual fueron similares a los de los otros manejos de cero laboreo y superiores a la del arado. Es importante notar también que los manejos de no laboreo al nivel uno fueron superiores al arado con niveles más altos de fertilización.

### 1.2.2 Rendimientos de frijol:

En el cuadro 2, se observa que a cualquier nivel de fertilización rindió más que los manejos de no laboreo, y estos fueron estadísticamente iguales. El efecto negativo sobre el rendimiento del frijol en los manejos de no laboreo puede explicarse en base a dos posibilidades: 1) La mejor conservación de la humedad en estas parcelas, fue propicia para el desarrollo de hongos que afectaron al cultivo, y 2) En estos suelos arcillosos, el orificio del espeque para la siembra, presentaba las paredes muy lisas y compactas lo que pudo motivar que las raíces del frijol tuvieran dificultad de penetración y además falta de oxigenación.

Por manejos resalta el hecho de que el arado al nivel uno rindió más que los manejos de cero laboreo a niveles más altos y que la quema al nivel uno rindió más que el glyphosate con el nivel tres.

Entre niveles, los medios de los niveles uno, dos y tres fueron estadísticamente iguales y superiores a la media del nivel cero, o sea que el nivel más adecuado de Nitrógeno es el de 75 Kg/Ha.

## 1.3 Tercer Ciclo: Maíz en Monocultivo, evaluación del nitrógeno residual.

### 1.3.1 Rendimientos del Maíz:

En el cuadro 1, se observa que los manejos de no laboreo rindieron en forma semejante y fueron inferiores al arado a cada nivel de fertilización. O sea que en condiciones de nitrógeno limitante la labranza del suelo es muy necesaria para mejorar la disponibilidad del nitrógeno residual.

## 2. Evaluación Económica: Análisis conjunto de los Tres Ciclos, Mediente el Ingreso Neto:

Para realizar este análisis se sumaron los ingresos netos obtenidos por cada tratamiento en los tres ciclos, para determinar a mediano plazo (15 meses de estudio) los alternativos más convenientes, desde el punto de vista de rentabilidad económica.

En el cuadro 3 se observa que en general los mayores ingresos netos se obtuvieron con los tratamientos de no laboreo: glyphosate a los niveles tres y dos y paraquat al nivel dos, siendo el primero superior al segundo en 60.84 dólares y al tercero en 123.12 dólares.

El arado presentó su mayor ingreso neto al nivel dos de fertilización, el que es inferior al glyphosate a los niveles tres y dos en 256.09 dólares y en 195.25 dólares, respectivamente, y al paraquat al nivel dos en 132.97 dólares.

El ingreso neto del arado al nivel tres (1970.50 dólares) es inferior a los obtenidos por la quema a los niveles uno y dos y por el glyphosate al nivel dos, lo que indica que podría sustituirse a la labranza del suelo por manejos de no laboreo que requieran menos nitrógeno y que proporcionen un ingreso neto superior.

El arado superó al glyphosate solamente al nivel uno, y a la quema a los niveles cero y dos, y la quema fue superior al glyphosate sólo al nivel uno de fertilización. Estos resultados indican que el glyphosate se comportó mejor a lo largo de los 15 meses de cultivo a los niveles dos y tres, y la quema y arado al nivel dos.

El ingreso neto promedio fue mejor en los manejos de no laboreo y entre ellos el glyphosate fue mejor que la quema.

## 3. EVALUACION ENERGETICA:

Para realizar este análisis se determinó el número de jornales requeridos por cada tratamiento para producir un nivel de ingreso neto de 100 dólares, el número de jornales fueron transformados a unidades energéticas, a esta energía se la llamó energía humana. Los insumos comprados con el capital efectivo variable (herbicidas, fertilizante y mecanización) para producir los 100 dólares netos fueron también transformados a unidades energéticas y se la llamó energía química. Para dichas transformaciones se emplearon los coeficientes energéticos propuestos por G. Leach en Energy and food production. IPC, Science and Technology. London.

Este análisis energético para el conjunto de los tres ciclos se resume en la figura 1 y en ella se observa que la isocuenta de 100 dólares netos incluye como tratamientos más eficientes al glyphosate a los niveles cero, uno y dos, y a la quema al nivel uno. Sin embargo, la línea de isoenergía destaca al glyphosate al nivel cero como el más eficiente de todos, a los precios estimados por Mega Juolo humano (0.671 dólares) y química (0.073 dólares). Por estos resultados y por la tendencia de las curvas de la figura 1, se determina que el costo energético para producir los 100 dólares netos se eleva considerablemente a medida que se incrementa la adición de energía química en forma de nitrógeno, sin embargo, los niveles cero requirieron mucha energía humana, situación que puede ser beneficiosa a nivel de agricultores de subsistencia, los que tienen disponibilidad de mano de obra, pero poca capacidad de endeudamiento; para ellos la mejor alternativa será glyphosate al nivel cero de fertilización.

Los agricultores de no subsistencia, producirán a un mayor costo energético, con el fin de mejorar la producción y el ingreso neto; para este tipo de productor la mejor alternativa es el manejo quema al nivel uno de fertilización. Los manejos de no laboreo fueron más eficientes en el uso de la energía que el laboreo tradicional, el que requiere más energía química y humana para producir los 100 dólares netos.



Los resultados energéticos obtenidos a lo largo del periodo experimental revelan que la preparación tradicional del suelo, adiona mucha energía a los agroecosistemas, energía que no se justifica, pues no contribuye a mejorar la salud energética o económica de los mismos y solo contribuye a elevar los costos privados y sociales del proceso productivo.

CUADRO 1: RENDIMIENTOS MEDIOS (TM/ha) AL 15% DE HUMEDAD DEL GRANO POR MANEJOS Y NIVELES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA. PRIMERO Y TERCER CICLO, MAIZ EN MONOCULTIVO, Y PRUEBA DE DMS AL 1% y 5%. CATIE, 1980.

Manejo	PRIMER CICLO				TERCER CICLO				
	NIVELES DE NITROGENO				NIVELES DE NITROGENO				
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	$\bar{X}$
Glyphosate	4.25ns	5.19ns	5.82ns	6.41	2.21	2.27	3.11	3.61	2.96ns
Quema	3.68*	5.10*	5.23*	5.69**	2.30	2.68	3.31	3.83	3.0ns
Arado	4.10ns	5.57ns	5.81ns	5.86*	2.60	3.94	4.35	4.27	3.79**
Paraquat			5.90ns				3.25		
Limpia Manual			6.19ns				2.66		
$\bar{X}$	4.01**	5.29*	5.79ns	5.99ns	2.37	3.11**	3.36**	3.91**	

\* Significativo al 5%

\*\* Significativo al 1%

DMS manejos: 0.60 (1%) y 0.41 (5%)

DMS niveles: 0.69 (1%) y 0.48 (5%)

DMS manejos: 0.56 (1%) y 0.38 (5%)

DMS niveles: 0.64 (1%) y 0.44 (5%)

CUADRO 2: RENDIMIENTOS MEDIOS DE MAIZ Y FRIJOL (TM/ha) AL 15% de HUMEDAD DEL GRANO. PRUEBA DE DMS AL 1%. SEGUNDO CICLO, MAIZ ASOCIADO CON FRIJOL CATIE, 1980.

Manejo	Rendimientos de Maiz					Rendimientos de frijol				
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	$\bar{X}$	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	$\bar{X}$
Glyphosate	1.12	3.82	3.78	3.17	2.72ns	0.64	0.99	1.14	1.23	1.00ns
Quema	1.02	3.11	2.52	2.72	2.34ns	0.75	1.27	1.23	1.19	1.11ns
Arado	1.24	1.63	1.76	1.69	1.58**	1.01	1.51	1.65	1.61	1.44**
Paraquat			3.26					1.06		
Limpia manual			2.66					1.02		
$\bar{X}$	1.13**	2.52ns	2.80ns	2.53ns		0.80**	1.26ns	1.22ns	1.34ns	

Maiz

DMS Manejos: 0.70(1%) y 0.48 (5%)

DMS Niveles: 0.81(1%) y 0.56 (5%)

Frijol:

DMS Manejos: 0.25(1%) y 0.17 (5%)

DMS Niveles: 0.28(1%) y 0.20 (5%)

CUADRO 3: INGRESO NETO (DOLARES USA) POR MANEJO DEL SUELO Y NIVELES DE FERTILIZACION NITROGENADA. CONJUNTO DE LOS TRES CICLOS. CATIE, 1980.

Manejo	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$\bar{X}$
Glyphosato	1066.55	1824.56	2289.35	2350.19	1882.67
Quoma	1018.46	2078.71	2014.51	2172.50	1821.04
Arado	1043.83	1921.03	2094.10	1970.50	1757.37
Paraquat			2015.36		
Limpia Manual			2227.07		
$\bar{X}$	1042.95	1941.43	2103.33	2164.39	



#### IV CONCLUSIONES:

##### 1.- Rendimiento de los cultivos:

En el primer ciclo y con lluvia abundante los mayores rendimientos se obtuvieron con los manejos de no laboreo; Limpia manual y Paraquat al nivel dos de fertilización. En promedio el glyphosate fue superior a la labranza tradicional y este mejor que la quema.

En el segundo ciclo con balance hídrico negativo, los rendimientos de maíz fueron superiores con los métodos de no laboreo. Esto se atribuyó a una mejor conservación del agua del suelo por parte de estos manejos. Pero los rendimientos de frijol fueron superiores con la labranza tradicional.

En el tercer ciclo; en condiciones de lluvia abundante y nitrógeno residual, la labranza convencional fue superior a los manejos de no laboreo.

##### 2.- Económicas:

Los manejos de no laboreo fueron más rentables que la labranza convencional al realizar el análisis por medio del ingreso neto en el conjunto de los tres ciclos. El tratamiento más rentable fue glyphosate al nivel tres de fertilización.

##### 3.- Energéticos:

Los manejos de no laboreo fueron más eficientes que el laboreo tradicional, al requerir menor energía humana y química para producir los mismos 100 dólares netos. El tratamiento más eficiente fue el glyphosate al nivel cero de fertilización.