

TUES  
1304  
G748a  
2001  
Fj. 2



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO**

**AMBIENTE**

**EFECTO DEL SISTEMA CULTIVO EN CALLEJONES EN LA  
CONSERVACIÓN, FERTILIDAD DEL SUELO Y EN EL  
RENDIMIENTO DE MAIZ (Zea mays) y FRIJOL (Phaseolus vulgaris)**

**POR:**

**GRANADOS ARANZAMENDI, DAVID**

**JAIME GODOY, JUAN JOSÉ**

**LETONA PÉREZ, LUIS EDGARDO**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**SAN SALVADOR, JULIO DE 2001**



5095

Recibido 29/08/2001

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

*RECTORA:*

*DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ*

*SECRETARIA GENERAL:*

*LICDA. LIDIA MARGARITA MUÑOZ VELA*

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

*DECANO:*

*ING. AGR. MSc. FRANCISCO LARA ASCENCIO*

*SECRETARIO:*

*ING. AGR. JORGE ALBERTO ULLOA ERROA.*

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES  
Y MEDIO AMBIENTE:**

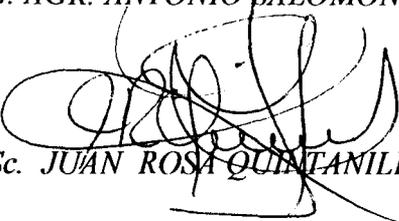
  
ING. AGR. GLADYS HAYDEE AGUIRRE

**ASESOR:**

  
ING. AGR. MSc. LUIS FERNANDO CASTANEDA

**JURADO CALIFICADOR**

  
ING. AGR. ANTONIO SALOMÓN RIVAS.

  
ING. AGR. MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

  
ING. AGR. CARLOS GARCÍA.

## RESUMEN

*La investigación se realizó en parcelas de validación del CENTA, una situada en el cantón La Joya, jurisdicción de Ciudad Arce, departamento de La Libertad y la otra en el cantón Palo Grande, jurisdicción de Rosario de Mora del departamento de San Salvador, durante los meses de abril de 1998 a febrero de 1999.*

*Con el propósito de medir el efecto del sistema de cultivo entre callejones, en cuanto a la conservación y fertilidad del suelo, como objetivos principales se evaluaron los siguientes tratamientos:*

*T1: Sistema maíz-frijol en relevo entre callejones de madrecaao protección de vetiver.*

*T2: Sistema maíz-frijol en relevo entre callejones de gandul + Protección de vetiver.*

*T0: Sistema maíz-frijol en relevo con manejo tradicional del Agricultor*

*(Testigo).*

*El área correspondiente a cada tratamiento fue de 1000 m<sup>2</sup>, en cada uno de los tratamientos el manejo para los cultivos maíz y frijol fue el mismo. Las variedades utilizadas fueron: H-59 para el maíz y DOR-482 para el frijol.*

*Las variables analizadas fueron:*

- 1. Pérdida y/o acumulación de suelo por tratamiento.*
- 2. Producción de biomasa de las leguminosas (madrecaao y gandul) y vetiver.*
- 3. Rendimiento de grano de los cultivos.*
- 4. Fertilidad del suelo.*
- 5. Humedad del suelo.*
- 6. Rentabilidad del sistema.*
- 7. Aceptación y participación de los productores en el estudio.*

*En cuanto a la metodología, para medir el movimiento y retención del suelo durante la época lluviosa; se colocaron pines entre los callejones y en las barreras de vetiver, de los cuales se tomaron lecturas cada mes; para la producción de biomasa tanto de las leguminosas como del vetiver se muestreo una longitud de 5 m en cada barrera; para determinar rendimiento de los cultivos, en cada uno de los callejones se muestrearon 4 surcos a una longitud de 5 m; para medir el contenido de nutrientes del suelo se tomaron muestreos antes de la siembra y después*

de la cosecha de los cultivos; en cuanto a la humedad del suelo, se realizaron muestreos a dos profundidades (de 0 a 10 y de 10 a 20 cm; para evaluar la rentabilidad del sistema se consideró del presupuesto parcial, el análisis de dominancia y análisis marginal; y para la aceptación de los productores se realizaron evaluaciones participativas en las parcelas donde se desarrollo la investigación .

El análisis correspondiente para cada una de las variables se hizo con resultados promedios, los cuales nos indican que con la implementación del sistema de cultivo en callejones utilizando las leguminosas (madrecacao y gandul) y el zacate de vetiver, la pérdida de suelo se puede reducir en un 55% hasta un 60.6%, en pendientes del 35 al 40%; los rendimientos de granos se pueden incrementar de 17 a 21.5% para el maíz y de 31.6 a 36% para el frijol.

Las especies leguminosas y vetiver son capaces de aportar 3982.5 kg/ha y 4498 kg/ha respectivamente de material verde; el contenido de humedad en el suelo se incremento en 2.87 y 0.57% para los tratamientos  $T_1$  y  $T_2$ ; el contenido de materia orgánica se ve incrementado en un 0.79 y un 0.73% para el  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente, así el pH del suelo se vio reducido 1.5 unidades en dichos tratamientos; en cuanto al contenido de nutrientes del suelo, el análisis no refleja un incremento considerable, pero si se observa un aumento en el rendimiento de los cultivos; la evaluación económica demuestra la superioridad de los tratamientos conservacionistas sobre el  $T_0$  con una relación arriba de 1:15 y 1:16 de beneficios netos. En cuanto a la aceptación de las tecnologías, las evaluaciones participativas demuestran el interés de los productores hacia la implementación de los cultivos en callejones.

El sistema de cultivo en callejones, es una tecnología muy importante y necesaria, principalmente en zonas de ladera, que viene a reducir problemas de erosión, producir cambios positivos en la fertilidad del suelo y por consiguiente aumentar la producción de los cultivos, siendo además económica y socialmente viable.

## **AGRADECIMIENTOS**

- *A DIOS TODOPODEROSO por habernos permitido alcanzar este triunfo.*
- *A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, especialmente a los docentes que fueron parte fundamental en nuestra formación académica*
- *AL PROGRAMA DE AGRICULTURA SOSTENIBLE EN LADERAS DE AMERICA CENTRAL (PASOLAC), por su aporte económico para el desarrollo de esta investigación*
- *A LOS ASESORES Luis Fernando Castaneda y Carlos García (CENTA), por brindarnos su apoyo incondicional en la orientación en el trabajo desarrollado*
- *A LA INGENIERO MORENA DE SOTO, por su enlace con la institución (PASOLAC), que financió el estudio*

- *Al CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL (CENTA), en sus agencias de extensión agropecuaria de Panchimalco y Ciudad Arce, en especial al Programa de Recursos Naturales, por su enlace con los dueños de las parcelas donde se realizó la investigación.*
- *A LOS SEÑORES AGRICULTORES Feliciano Monroy (Rosario de Mora) y Cecilio Saldaña (Ciudad Arce) por habernos facilitado sus parcelas y su colaboración en el desarrollo de la investigación.*
- *Al PERSONAL DE LA BIBLIOTECA, especialmente a Francisco Osorio, Carlos Corvera y Miguel Ruiz, por su amistad y facilitarnos el material necesario para la elaboración del documento*
- *A LOS COMPAÑEROS DE ESTUDIO, amigos y todas aquellas personas que hicieron posible concluir nuestros estudios y realizar este trabajo.*

## DEDICATORIA

*Mi Tesis de graduación la dedico:*

- *A DIOS TODO PODEROSO por permitirme alcanzar este triunfo.*
- *A MIS PADRES: Adelaida Aranzamendi de Granados y Salvador Granados, como un pequeño reconocimiento a su incansable esfuerzo a la formación de sus hijos y en particular a mi; para quien hicieron un especial sacrificio.*
- *A MIS HERMANOS: María Reyna, Milagro, Roberto y Juan José; por brindarme su comprensión y apoyo incondicional durante toda mi carrera académica.*
- *A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Luis Edgardo y Juan José.*
- *Al personal de la ASOCIACION AMIGOS DEL LAGO DE ILOPANGO, por motivarme a alcanzar este triunfo.*
- *A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO, amigos y a quienes de una u otra forma me apoyaron.*

DAVID GRANADOS

## DEDICATORIA

- *A DIOS TODOPODEROSO: por sus bendiciones, respaldo, protección y sabiduría.*
- *A MIS PADRES: Por su ayuda económica, consejos y comprensión.*
- *A MIS HERMANOS: por su compañía.*
- *A MIS PROFESORES: por su entrega y dedicatoria para la enseñanza.*
- *A MIS COMPAÑEROS: por su valiosa amistad*
- *A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR: por permitirme la oportunidad de tener una profesión académica.*
- *A MI ESPOSA: por su amor, compañía y respaldo en los momentos mas difíciles.*
- *MI HIJO: por ser la iniciativa y deseo de mi esfuerzo.*

JUAN JOSE JAIME

## DEDICATORIA

- *A DIOS TODO PODEROSO: por haberme bendecido y guiarme durante mis años de estudio.*
- *A MI MADRE: María Amelia Pérez, por su amor y comprensión y especialmente por su lucha de corazón para el bienestar de sus hijos.*
- *A MI PADRE: Edmundo Letona, Dios lo tenga en su santa gloria, que estoy seguro estará feliz y orgulloso de sus hijos.*
- *A MI HERMANO: Leonel Edmundo Letona, por ser un ejemplo digno y brindarme su apoyo incondicional en el desarrollo de mis estudios.*
- *A MIS HERMANAS: Ana Judith, Blanca Idalia y Elsa Miriam, por su apoyo constante y comprensión a lo largo de mi carrera.*
- *A MIS ABUELOS: Benvenuto Letona y Jesús Pérez por su atención y comprensión.*
- *A MIS TIOS: Félix Pérez y Adán Letona, por su apoyo y comprensión.*
- *A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO: por su amistad y apoyo.*
- *AL LIC. Y MAESTRO HERBERTH CHICAS: por su amistad y apoyarme a seguir en el deporte junto con el desempeño de mis actividades académicas.*
- *A MIS COMPAÑEROS (AS) DE LAS ESCUELAS DE TAE KWON DO DE LA UES Y OLYMPIC, por brindarme su amistad y apoyo, y ser como una familia.*
- *A MIS DEMAS FAMILIARES Y AMIGOS: que de alguna forma me apoyaron.*

LUIS LETONA



2.1.9.1. <i>Gliricidia sepium</i> .....	17
2.1.9.2. <i>Cajanus cajan</i> .....	21
2.2. <i>Las barreras vivas</i> .....	26
2.2.1. <i>Ventajas potenciales</i> .....	26
2.2.2. <i>Posibles desventajas</i> .....	27
2.2.3. <i>Selección de especies</i> .....	27
2.2.4. <i>Manejo de barreras vivas</i> .....	29
2.2.5. <i>El zacate vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>), barrera     contra la erosión del suelo</i> .....	30
2.2.5.1. <i>Suelos</i> .....	31
2.2.5.2. <i>Variedades y cultivares</i> .....	32
2.2.5.3. <i>Propagación</i> .....	32
2.2.5.4. <i>Plagas y enfermedades</i> .....	32
2.2.5.5. <i>Usos del vetiver</i> .....	33
2.2.5.6. <i>Principales características agronómicas del         zacate vetiver</i> .....	34
2.3. <i>Sistemas de abono verde</i> .....	35
2.3.1. <i>Características de las plantas usadas como abonos     verdes</i> .....	36
2.3.2. <i>Características de plantas usadas como abonos     verdes para intercalar con los cultivos principales</i> .....	36
2.3.3. <i>Funciones de los abonos verdes</i> .....	36
2.4 <i>Erosión</i> .....	37
2.4.1. <i>Influencia del suelo en la erosión</i> .....	39
2.4.2. <i>Tipos de erosión</i> .....	40

2.4.2.1. Erosión laminar.....	40
2.4.2.2. Erosión interna.....	40
2.4.2.3. Erosión por surcos o canales.....	41
2.4.2.4. Erosión por movimientos masivos de suelo.....	41
2.4.3. Métodos empleados para la cuantificación de las pérdidas por erosión.....	41
2.4.3.1. Clavos con rondanas.....	42
2.4.3.2. Tapas o corcholatas de botella.....	42
2.4.3.3. Lotes de escurrimiento.....	43
2.4.3.4. Método de varillas de erosión.....	43
2.4.4. Pérdida de suelo.....	44
2.5. Los análisis de suelo.....	47
2.5.1. Interpretación de análisis.....	48
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
3.1. Descripción del sitio.....	49
3.2. Duración de la investigación.....	49
3.3. Criterios de selección del sitio y de los productores.....	50
3.4. Diseño y tamaño de las parcelas.....	51
3.5. Materiales y equipo.....	51
3.6. Tratamientos evaluados.....	52
3.7. Variables evaluadas.....	53
3.7.1. Pérdida y/o acumulación de suelo.....	53
3.7.2. Rendimiento de los cultivos.....	54

3.7.3. Producción de biomasa.....	54
3.7.4. Humedad.....	55
3.7.5. Fertilidad.....	55
3.7.6. Rentabilidad del sistema.....	56
3.7.6.1. Presupuesto parcial.....	56
3.7.6.2. Análisis de dominancia.....	57
3.7.6.3. Tasa de Retorno Marginal.....	57
3.7.7. Interés y participación de los productores.....	57
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.1. Pérdida y/o acumulación de suelo.....	58
4.1.1. Pérdida de suelo.....	58
4.1.2. Acumulación de suelo en las barreras de vetiver.....	63
4.2. Rendimiento de granos.....	66
4.2.1. Rendimiento de grano de maíz.....	66
4.2.2. Rendimiento de grano de frijol.....	70
4.3. Producción de biomasa.....	73
4.3.1. Rendimiento de madrecaao y gandul.....	74
4.3.2. Rendimiento de vetiver.....	76
4.4. Humedad.....	78
4.5. Fertilidad del suelo.....	81
4.5.1. Resultados de pH y materia orgánica.....	81
4.5.2. Contenido de nutrientes.....	83
4.6. Evaluación económica.....	90
4.6.1. Presupuesto parcial.....	90

4.6.2. <i>Análisis de dominancia</i> .....	93
4.6.3. <i>Análisis marginal</i> .....	95
4.6.4. <i>Curva de beneficios netos</i> .....	96
4.7. <i>Interés y participación de los productores</i> .....	98
5. <i>CONCLUSIONES</i> .....	100
6. <i>RECOMENDACIONES</i> .....	102
7. <i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	103
8. <i>ANEXOS</i> .....	112

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>Pág.</b>
1. <i>Calendario de poda para el trópico seco con el sistema maíz de primera y frijol de postrer.....</i>	15
2. <i>Composición química proximal de la harina del fruto y de la Semilla de madrecaao (<u>Gliricidia sepium</u>).....</i>	21
3. <i>Composición de la semilla de gandul (%) (<u>Cajanus Cajan</u>).....</i>	22
4. <i>Valor nutritivo de la planta de gandul (<u>Cajanus cajan</u>).....</i>	24
5. <i>Análisis químico de diferentes partes de la planta de gandul (<u>Cajanus cajan</u>).....</i>	24
6. <i>Algunas especies usadas frecuentemente como barreras vivas en fincas de productores en Nicaragua.....</i>	28
7. <i>Distanciamientos de barreras vivas en cultivos limpios según la pendiente.....</i>	33
8. <i>Pérdida de suelo en tn/ha, según estudios realizados en Rhodesia.....</i>	45
9. <i>Pérdida de suelo en tn/ha bajo el sistema cultivo en callejones y precipitación en mm. en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....</i>	60
10. <i>Retención promedio de suelo en mm. en las barreras de leguminosas + vetiver, en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....</i>	63
11. <i>Rendimientos de grano de maíz H-59 en kg/ha en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.....</i>	66

12. Rendimiento ajustado de maíz en kg/ha en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	67
13. Rendimiento de grano de frijol en kg/ha, bajo el sistema cultivo en callejones, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	70
14. Producción de biomasa en kg/ha de las leguminosas y vetiver, para el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	73
15. Porcentaje de humedad a dos profundidades y dos épocas de muestreo, en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	78
16. Comportamiento del porcentaje de materia orgánica y pH del suelo, en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	81
17. Contenido de nutrientes del suelo en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	83
18. Aporte de los nutrientes de las leguminosas .....	84
19. Costos que varían en los tratamientos conservacionistas, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998/99.....	90
20. Precio de campo de los derivados y mano de obra del sistema cultivo en callejones para Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1988/99.....	91
21. Presupuesto parcial en parcelas de investigación, para Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	92
22. Análisis de dominancia para el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	94

23. Bondades, limitantes y sugerencias del sistema cultivo en callejones, obtenidos en la evaluación participativa en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	98
A-1. Lectura de pines tomadas en Ciudad Arce.....	113
A-2. Lectura de pines tomadas en Rosario de Mora.....	114
A-3. Lectura de pines en las barreras, Ciudad Arce.....	115
A-4. Lectura de pines en las barreras, Rosario de Mora.....	116
A-5. Movimiento de suelo en las barreras de vetiver.....	117
A-6. Cálculos para determinar pérdida de suelo.....	118
A-7. Costos de producción para el sistema cultivo en callejones.....	119
A-8. Costos del establecimiento de barreras, para el sistema de Cultivo en callejones.....	120
A-9. Plan de financiamiento para el establecimiento y mantenimiento de las barreras en Rosario de Mora.....	121
A-10. Plan de financiamiento para el establecimiento de las barreras en Ciudad Arce.....	122
A-11. Cálculo de la cantidad de fertilizante aportado por las leguminosas.....	123
A-12. Cálculo de rendimiento de granos, maíz y frijol, para el sistema de cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
1. <i>Comportamiento de la pérdida de suelo promedio en tn/ha, en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....</i>	61
2. <i>Acumulación promedio de suelo mm, en las barreras de vetiver, durante dos años de evaluación en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.....</i>	64
3. <i>Comportamiento del rendimiento promedio de maíz en kg/ha durante 4 años de evaluación del sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.....</i>	69
4. <i>Comportamiento del rendimiento promedio de frijol en kg/ha, durante dos años, bajo el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.....</i>	72
5. <i>Comportamiento del rendimiento promedio de biomasa de leguminosas en kg/ha, durante 3 años de evaluación en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.....</i>	75
6. <i>Comportamiento del rendimiento promedio de materia verde de vetiver en kg/ha, durante 3 años de evaluación, en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.....</i>	77
7. <i>Comportamiento del porcentaje de humedad promedio a dos profundidades de muestreo, durante dos años de evaluación en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.....</i>	80
8. <i>Comportamiento del fósforo (P), durante dos años de evaluación y cuatro épocas de muestreo bajo el sistema de cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1997/87 y 1998/99.....</i>	86

9. Comportamiento del potasio (K) durante dos años de evaluación y cuatro épocas de muestreo bajo el sistema de cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1997/98 y 1998/99. ....	87
10. Comportamiento del calcio (Ca) durante dos años de evaluación y cuatro épocas de muestreo bajo el sistema de Cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1997/98 y 1,998/99 .....	88
11. Comportamiento del Magnesio (Mg) durante dos años de evaluación y cuatro épocas de muestreo bajo el sistema Cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1997/98 y 1998/99. ....	89
12. Curva de beneficios netos de la investigación, para la localidad de Ciudad Arce. ....	97
13. Curva de beneficios netos de la investigación, para la localidad de Rosario de Mora . ....	97
A-1 Plano de campo de las parcelas de investigación y distribución de los pines en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998 .....	126
A-2. Puntos de muestreo para determinar rendimiento de los cultivos y producción de biomasa de las leguminosas y vetiver, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998 .....	127
A-3. Puntos de muestreo de suelo para determinar porcentaje de humedad en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.....	128

## 1. INTRODUCCIÓN

*En El Salvador, el cultivo de granos básicos se desarrolla generalmente en zonas de ladera. El 75% de éstas presentan pendientes mayores del 45%, en donde el uso inadecuado de los suelos y la falta de obras de conservación, han provocado un acelerado deterioro del suelo.*

*Para contrarrestar estos efectos en el corto tiempo, se necesitan mayores cantidades de insumos, lo que deriva en un incremento en los costos de producción. Esto hace que el sector agrícola pierda competitividad disminuyendo los niveles de ganancia y aumentando el empobrecimiento del agricultor.*

*En 1995 el CENTA, por medio del Programa de Recursos Naturales, inició un proyecto conservacionista de suelos y agua con la implementación del sistema cultivo en callejones, en diferentes localidades entre ellos, Rosario de Mora, San Salvador, y Ciudad Arce, La Libertad.*

*A partir de 1997, la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, se incorpora al proyecto para evaluar la fertilidad y la pérdida de suelo en los sistemas.*

*El cultivo en callejones es una alternativa a la problemática de la agricultura en laderas, ya que puede incrementar o mantener los niveles de fertilidad de los suelos, pues las especies leguminosas, madrecaao (*Gliricidia sepium*) y gandul (*Cajanus cajan*), utilizadas como componente forestal en los sistemas, además de ser fijadoras de nitrógeno atmosférico, su follaje mejora la fertilidad del suelo y otras*

*características físicas de éste, como textura e infiltración; con lo cual se mejora también la capacidad de retención de humedad.*

*Algunos de los beneficios que el agricultor puede obtener al implementar este tipo de sistema son por ejemplo, el mantenimiento o incremento de la rentabilidad de las fincas, producto de un mejor rendimiento de los cultivos y una reducción en los costos de producción, al necesitarse menos insumos. Además, el sistema puede aportar beneficios extras al agricultor, como la obtención de leña, una fuente alternativa de alimento de alto valor nutricional a través del gandul y generación de ingresos por la comercialización y/o utilización de otros productos del sistema, tales como el vetiver.*

*En este documento se presentan los resultados obtenidos en la investigación del sistema maíz + frijol entre callejones de madrecaao (*Gliricidia sepium*) y gandul (*Cajanus cajan*), acompañadas con una barrera de vetiver (*Vetiveria zizanioides*).*

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Los sistemas agroforestales.**

#### **2.1.1. Concepto.**

*Desde hace muchos años, los agricultores practican la combinación de árboles con otros cultivos mas la crianza de animales; a estas técnicas se les da el nombre general de sistemas agroforestales.*

*Un sistema agroforestal es un método de aprovechamiento de la tierra que combina la utilización de los árboles (para sus productos y servicios) con los cultivos agrícolas y/o los animales (Geilfus 1994).*

#### **2.1.2. Importancia.**

*Los sistemas agroforestales más sofisticados se desarrollan generalmente donde los agricultores sufren de una gran escasez de tierra, desde hace mucho tiempo. Los desarrollan buscando una mayor eficiencia en el uso de los recursos (Geilfus 1994).*

*Los sistemas agroforestales pueden contribuir efectivamente a establecer modelos de producción estables, por las siguientes razones:*

- *Condicionan favorablemente el medio físico, al mejorar la fertilidad de los suelos y la eficiencia hídrica, disminuyendo el impacto de la erosión, contribuyendo así a evitar la desertificación.*

- *Permiten un mejor aprovechamiento de la diversidad biológica, importante aporte a la estabilidad ambiental, social, económica y del medio físico.*
- *Consolidan el desarrollo sostenible al disminuir los efectos de las oscilaciones climáticas y económicas por ser sistemas productivos más diversificados, los cuales permiten al productor tener mayores opciones, aumentando su seguridad y la de las generaciones futuras. La producción ganadera también se ve favorecida por una mayor prolongación del período productivo de las praderas.*
- *Para el caso de los cultivos, la incorporación de un extracto arbóreo, mezclado o en fajas, puede contribuir también hacia el logro de cosechas más seguras y eficientes.*

*Tomando en cuenta los aspectos antes mencionados, los sistemas agroforestales son importantes desde el punto de vista social, económico y ecológico (Camero s.f.).*

### **2.1.3. Clasificación.**

*Los sistemas agroforestales han sido capaces de probar que por su extrema flexibilidad, adaptabilidad y concentración sobre pequeñas áreas, tienen una oportunidad para mejorar el uso de la tierra, especialmente en aquellas de carácter marginal. Considerando lo anterior, Camero, sf. Clasifica los sistemas agroforestales en tres grupos : sistemas agroforestales secuenciales, sistemas agroforestales simultáneos y sistemas agroforestales de cercas vivas y cortinas rompevientos.*

### **a. Sistemas agroforestales secuenciales**

*Bajo este sistema existe una relación cronológica entre las cosechas anuales y los productos arbóreos ; es decir que los cultivos anuales y las plantaciones de árboles se suceden en el tiempo. Esta categoría incluye formas de agricultura migratoria con intervención o manejo de barbechos, y los sistemas taungya, métodos de establecimiento de plantaciones forestales en los cultivos anuales se llevan a cabo simultáneamente con las plantaciones de árboles, pero sólo temporalmente, hasta que el follaje de los árboles se encuentre desarrollado.*

- *Agricultura migratoria : Comprende sistemas de subsistencia, orientado a satisfacer las necesidades básicas de alimento, combustible y habitación ; ocasionalmente llegan a constituir una fuente de ingresos a través de la venta de excedentes de algunos productos.*
- *Sistemas Taungya : Mientras que en la agricultura migratoria los árboles y los cultivos se establecen siguiendo una secuencia temporal, en los sistemas taungya los árboles y cultivos crecen simultáneamente durante el período de establecimiento de la plantación forestal.*

### **b. Sistemas agroforestales simultáneos**

*Consiste en la integración simultánea y continua de cultivos anuales o perennes, árboles maderables, frutales o de uso múltiple y/o*

*ganadería. Estos sistemas incluyen asociaciones de árboles con cultivos anuales o perennes, huertos caseros mixtos y sistemas agrosilvopastoriles.*

*- En contraste con los sistemas agroforestales secuenciales, en los simultáneos, los componentes agrícolas y arbóreos se encuentran en el mismo terreno durante toda la duración del sistema.*

- *Árboles en asociación con cultivos perennes : Un ejemplo muy común de este sistema es el cultivo de café y cacao bajo sombra.*
- *Árboles en asociación con cultivos anuales : En estas asociaciones, las interacciones de los cultivos anuales con el componente arbóreo son similares a las del caso anterior. Estos sistemas se prestan para especies tolerantes a la sombra ; de otro modo se trataría de un sistema taungya.*
- *Huertos caseros mixtos : Son asociaciones de árboles maderables, frutales, leñosos, cultivos perennes o anuales y animales.*
- *Sistemas agrosilvopastoriles : Son asociaciones de árboles maderables o frutales con animales, con o sin la presencia de cultivos anuales.*

**c. *Sistemas agroforestales de cercas vivas y cortinas rompevientos.***

*Estos consisten en hileras de árboles que pueden delimitar a una propiedad o servir de protección para otros componentes u otros sistemas; se les puede considerar como sistemas complementarios de los nombrados anteriormente.*

#### **2.1.4. Ventajas.**

- *Captura de mayor cantidad de energía solar.*
- *Mayor resistencia contra condiciones adversas de precipitación pluvial.*
- *Se reducen daños causados por vientos fuertes y gotas de lluvia.*
- *Retorno al suelo de mayores cantidades de materia orgánica.*
- *Mayor eficiencia en el reciclaje de nutrientes desplazados a áreas inaccesibles a cultivos anuales o perennes.*
- *Las raíces de los árboles contribuyen a mejorar la estructura del suelo.*
- *Reducción en la evaporación de agua del suelo.*
- *Reducción en costo de control de malezas.*

#### **2.1.5. Desventajas.**

- *Los árboles compiten por luz con los cultivos.*
- *Los árboles compiten por agua en tiempos de déficit.*
- *Los árboles retienen lluvias ligeras en sus copas.*
- *La cosecha de los árboles causa daño a los cultivos.*
- *El microclima húmedo creado cerca de los cultivos favorece enfermedades fungosas.*
- *En ciertos casos los rendimientos son menores que los obtenidos en monocultivos.*
- *Aumenta la demanda de mano de obra (Camero, s.f.).*

### **2.1.6. Árboles en asocio con cultivos anuales.**

*En estas asociaciones, las interacciones de los cultivos anuales con el componente arbóreo tienden a optimizar el uso de recursos y aumentar la productividad por unidad de área (Montagnini et al, 1992, citado por Quintanilla, 1995). Las especies a utilizar es preferible que tengan rápido crecimiento apical, para asegurar su establecimiento rápido en el terreno. También es recomendable que los árboles produzcan abundante biomasa y que ésta sea de fácil descomposición, tengan tolerancia a las podas repetidas, no ser hospederos de plagas de los cultivos, ni poseer efectos alelopáticos ni tóxicos; es preferible que sean especies fijadoras de nitrógeno (Camero, s.f.).*

*Estos sistemas se presentan para especies anuales tolerantes a la sombra; aunque para el caso particular del sistema de cultivo en callejones, se pueden utilizar especies que toleren o no la sombra, entre los cultivos que se pueden incluir tenemos: maíz, frijoles, guisantes, soya, maní y tubérculos (Montagnini et al, 1992, citado por Quintanilla, 1995).*

### **2.1.7. Importancia del componente arbóreo**

*La degradación de los recursos naturales, principalmente del suelo es el resultado de prácticas inadecuadas de producción agrícola. Con la cobertura (materia verde) producida por el componente arbóreo en los sistemas de producción, se reduce el deterioro y se mejora la fertilidad natural y humedad del suelo (Mendoza, 1996). Las leguminosas de grano son muy importantes por su uso alimenticio y por*

*su contribución en mejorar las condiciones del suelo (Redhead et al, 1983, citado por Quintanilla, 1995). El interés de utilizar árboles leguminosas ha aumentado ya que constituye una fuente de nitrógeno fijado del aire, abono verde, forraje y aun leña (Sánchez, 1989, citado por Quintanilla, 1995). El mulch aportado al suelo, permite mantener los suelos en un uso agrícola durante muchos años sin que sea necesario un barbecho generativo intermedio (ICRAF, citado por CENTA, 1998). La especie leñosa puede suplir el nitrógeno requerido por el cultivo (Ssekabembe, 1985, citado por CENTA, 1998).*

*El papel de las leguminosas en la conservación y el mejoramiento del suelo se puede resumir de la siguiente manera: su hábito de crecimiento rastrero o trepador facilita el cubrimiento del suelo y su protección contra los rayos solares y del impacto de las gotas de lluvia, reduciendo así la erosión, sobre todo en potreros sobre pastoreados. (Binder, 1997).*

*En ciertos aspectos las leguminosas son preferibles a las hierbas o zacates con fines de conservación, ya que producen una paja de contenido más alto de proteína y aumentan la productividad del suelo, añadiéndole nitrógeno. (Bennett, 1965).*

*Es importante señalar que el espacio utilizado por los árboles disminuye el rendimiento de los cultivos, además puede haber competencia por agua y nutrientes, también el valor de los productos de la poda a veces es menor que el costo de las podas. Además se requieren altos costos de mano de obra en las etapas iniciales de establecimiento (Montagnini et al, 1992, citado por Quintanilla, 1995).*

### **2.1.8. Cultivos en callejones.**

*El sistema de cultivo en callejones dentro de los sistemas agroforestales, constituye una práctica de gran potencial, este sistema agroforestal simultáneo desarrollado en Nigeria, consiste en la asociación de árboles o arbustos (generalmente fijadores de nitrógeno), intercalados en franjas con cultivos anuales. Los árboles o arbustos se podan periódicamente para evitar que se sombree los cultivos, y para utilizar los residuos de la poda como abono verde para mejorar la fertilidad de los suelos y como forraje de alta calidad. Este sistema fue inspirado en la práctica tendiente a la recuperación de barbechos, tales como el uso de coberturas verdes (Kang y Wilson, 1987).*

*Este sistema agroforestal, es un concepto nuevo en el campo agrícola, se encuentra especialmente en estaciones experimentales y en parcelas de investigación en fincas. El objetivo principal es mantener y aumentar la fertilidad de los suelos y reducir la erosión, de los mismos.*

*Debido al carácter experimental de este sistema, la información disponible sobre insumos y productos del sistema es aún objeto de discusión y la mayor parte de los análisis solo abarcan las primeras etapas de la vida de estos sistemas. La mayoría de los autores tienen pocas dudas acerca de los requerimientos de mano de obra del sistema en las primeras etapas de desarrollo. Puede haber sin embargo, algún ahorro en la mano de obra si se utilizan semillas o estacas en lugar de plántulas (Beer et al, 1989).*

*Este sistema es una técnica que se acerca a la utilización de la labranza cero, que logra la aplicación de mulch, el mantenimiento de la cobertura y la fertilidad del suelo. Con esta práctica las raíces*

*profundas de arbustos o leguminosas, están creciendo en filas lo suficientemente separadas que permiten el crecimiento del cultivo entre ellas.*

*Se ha demostrado que el sistema de cultivo en callejones contribuye a mantener la fertilidad de los suelos y permite obtener rendimientos estables del cultivo asociado (Quintanilla, 1995).*

*En estos sistemas agroforestales se usan cultivos que puedan proporcionar un follaje rico en nitrógeno, el cual se deja como capa protectora del suelo. Las ramas y otros materiales pueden ser utilizados como leña.*

*Una variedad de cultivos como maíz, yuca, frijol y arroz, se pueden sembrar en suelos con estas condiciones, en las cuales los cultivos aparecen posteriormente a través de la capa de hojarasca, en un suelo enriquecido y en un ambiente ideal de sombra ligera entre las hileras de árboles en período de regeneración.*

*Se pueden seguir podando los árboles de acuerdo con la necesidad de hojarasca y para reducir la sombra, a medida que madura el cultivo. Luego de la cosecha del cultivo, los árboles se regeneran rápidamente y sus raíces profundas extraen nutrientes de las capas inferiores del suelo, mientras que el follaje se cierra e inhibe el crecimiento de maleza durante el período de descanso entre cultivos (OET, 1986).*

*El uso de prácticas de cultivos en callejones, se basa en el principio de que es posible obtener un uso productivo y sostenible de la tierra, cuando los métodos de conservación y rehabilitación son introducidos antes de que se produzcan degradación de los recursos (Kang y Wilson, 1987).*

### *2.1.8.1. Ventajas y limitaciones del cultivo en callejones.*

*El sistema cultivo en callejones aumenta el rendimiento de los cultivos, debido a los nutrientes reciclados por los árboles de leguminosas y la mejora de las propiedades físicas del suelo (Binder, 1997).*

*Gracias a la cobertura que proporciona el material podado, se controla la erosión y las hierbas invasoras y se conserva mejor la humedad del suelo.*

*Un surco de árboles leguminosas bien podadas ocupa 50-75 cm de ancho, lo cual corresponde a una pérdida de área cultivada de 10-15%. Sin embargo, esta pérdida se compensa normalmente por el mayor rendimiento de los cultivos y la obtención de los subproductos leña y forraje (Binder, 1997).*

*Según la OET (1986) constituyen una opción para aumentar la fertilidad de los suelos y en algunos casos la fertilización con agroquímicos puede disminuir.*

*Camero (s.f.) menciona las siguientes ventajas:*

- Proporcionan abono vegetal al cultivo intercalado de plantas alimenticias.*
- Proporcionan sombra y material de poda que se utiliza como capa vegetal protectora.*
- Se favorecen las condiciones para el crecimiento de macro y microorganismos.*

- *Sirven de barrera para el control de la erosión.*
- *Proporcionan forraje, leña y postes.*
- *A los cultivos intercalados les proporcionan nitrógeno fijado biológicamente.*

*Uno de los inconvenientes de este sistema, es que los resultados en cuanto al incremento de los rendimientos se empiezan a observar al cabo de 2 ó 3 años.*

- *El sistema no se adapta a zonas con precipitaciones menores de 1000 mm/año, ya que su establecimiento es muy difícil, debido a la competencia por agua con los cultivos (Binder, 1997).*
- *El sistema es bastante complejo y requiere un manejo adecuado en cuanto a establecimiento de los árboles y calendarización de las podas (Binder, 1997).*
- *Requieren de mano de obra intensiva y por lo tanto, es poco probable que sea adoptado en los lugares donde la mano de obra es un factor limitante.*

*Los rendimientos del cultivo pueden estar en peligro, si la poda y la eliminación de malezas no se realiza a tiempo. Además, no existen especies arbóreas únicas ideales para el cultivo en callejones. Los agricultores generalmente tienen que esperar 3 a 4 años antes de lograr un incremento en los rendimientos, debido al tiempo que toma el mejoramiento del suelo (Carter, 1997).*

#### **2.1.8.2. Manejo del sistema cultivo en callejones.**

*La siembra directa es preferible para economizar los gastos en bolsas y mano de obra.*

*En zonas secas la siembra por estaca resulta mejor, facilitando el establecimiento de los árboles aunque el desarrollo de las raíces será más superficial y provocará una mayor competencia por el agua entre cultivos y árboles.*

*Se recomienda la siembra de los árboles a una distancia de 5-7 m entre hileras (ancho de callejón), sembrando de 5-7 plantas/m lineal. Utilizando mayores distancias no se produce suficiente cantidad de biomasa.*

*Cuanto más cerca se siembran los árboles, más hojas para abono verde y menos material lignificado se produce (Binder, 1997).*

*A más tardar 20 días después de la siembra, se realiza la resiembra y el raleo a 15-20 cm entre árboles.*

*En caso de utilizar el cultivo en callejones como barreras vivas en terrenos con pendiente, las hileras se siembran en curvas a nivel; los espacios entre los árboles en el surco se cubren con los rastrojos y hojarasca al lado superior, para facilitar la retención de sedimentos (Binder, 1997).*

*Los árboles son manejados durante el desarrollo del cultivo por medio de podas para minimizar la competencia por luz y agua. Se ha determinado que un aumento en el número de podas puede reducir la competencia por luz, pero también resulta en una disminución en la producción de biomasa de los árboles.*

*Las hojas y ramas delgadas podadas son usadas como mulch y las ramas gruesas pueden usarse como leña (Quintanilla, 1995).*

*La primera poda se hace un año después de la siembra a una altura de 40-80 cm. más tarde los árboles se podan cada 6-12 semanas.*

*Cuadro 1. Calendario de poda de leguminosas para el trópico seco con el sistema de maíz de primera y frijol de postrera.*

<i>No. DE PODA</i>	<i>ÉPOCA PARA REALIZARSE</i>	<i>DÍAS ENTRE PODAS</i>
<i>1</i>	<i>10-15 días antes de la siembra de 1ª</i>	<i>-----</i>
<i>2</i>	<i>10-40 días después de la siembra</i>	<i>45-55</i>
<i>3</i>	<i>10-15 días antes de la siembra postrera</i>	<i>60-75</i>
<i>4</i>	<i>30-40 días después de la siembra</i>	<i>45-55</i>

*Los árboles llegan a producir aproximadamente 150-200 qq/Mz/año de materia verde, con distanciamientos de 5 m de distancia entre hileras (Binder, 1997).*

### ***2.1.8.3. Factores que se pueden modificar en sistemas de cultivos en callejones.***

*Según Kang y Wilson (1987), los factores que pueden ser modificados en los cultivos en callejones son los siguientes:*

#### ***A. En el ambiente:***

- Drenaje*
- Encalado*
- Fertilización*
- Obras de conservación de suelos*
- Preparación de terreno*
- Uso previo*
- Riego*

**B. En los árboles:**

- *Especie, procedencia, clon, híbrido*
- *Se pueden utilizar más que una especie*
- *Población*
- *Semillas, estacas, micro estacas, acodos aéreos*
- *Espaciamiento*
- *Fertilización*
- *Inoculación con rizobium u hongos micorrizales*
- *Sembrar en curvas a nivel*
- *Régimen de poda*
- *Altura de poda*
- *Estado fisiológico de los cultivos al momento de aplicar los residuos.*

**C. En los cultivos:**

- *Especies, cultivares*
- *Requerimientos de luz*
- *Época de siembra*
- *Fertilización*
- *Control de malezas*
- *Densidad de siembra*

**2.1.9. Especies forestales**

*Las especies utilizadas como componente forestal, deben reunir las siguientes características:*

- 1. Crecimiento rápido.*

2. Resistencia a las podas repetidas.
3. Fijadoras de nitrógeno.
4. Sistema radicular profundo (pivotante).
5. Facilidad de establecimiento (siembra directa, estacas, pseudo estacas).
6. Sin espinas.
7. Reproducción acelerada (brotes de raíz, semillas).
8. Poder eliminarse fácilmente si se requiere
9. Proveer otros productos útiles (forraje, leña).
10. Las especies más utilizadas son generalmente arbustos de leguminosas (Geilfus, 1994).

#### 2.1.9.1. Gliricidia sepium

*El madrecaao, es una leguminosa arbustiva de la subfamilia papilionaceae, que alcanza una altura de 10 a 12 metros, de copa extendida y rala, de tronco torcido y muy ramificado (CATIE, 1991, citado por Quintanilla, 1995). La raíz es pivotante cuando proviene de semilla y adventicia cuando proviene de estacas (Beer, 1989).*

*Es originario de América Tropical y está distribuido desde México hasta Panamá; Se ha difundido en casi todos los trópicos; Es una de las especies de usos múltiples más versátiles.*

*Es una especie de clima tropical cálido, que se puede encontrar hasta los 1,600 msnm, pero crece mejor abajo de los 700 msnm con precipitaciones que van desde los 785 a 3,500 mm de lluvia por año (CATIE, 1991, citado por Quintanilla, 1995).*

*Esta especie recibe otros nombres como cacao, mata-ratón, madero negro, palo de hierro (El Salvador). Crece bien en toda clase de suelos (Flinta, 1960).*

*Florece de diciembre a mayo en racimos axilares y terminales de 5-10 cm de largo, sus flores son zigomórficas, papilionadas, bisexuales, con cáliz verde rojizo de 4-5 cm de largo en forma de copa, su corola es lila o rosado pálido de 5 pétalos desiguales.*

*El fruto es una vaina dehiscente café oscuro o negruzco de 10-15 cm de largo, glabras con ápice y base aguda, produce de 4-11 semillas por vaina, las cuales son elípticas de color café claro, de 1 cm de diámetro la cual es lanzada a gran distancia al abrirse las vainas (Magaña, 1991).*

*Su propagación puede hacerse en forma vegetativa y por semilla, lo que determina características anatómicas y funcionales diferentes.*

*Gliricidia sepium se puede asociar con cultivos anuales y perennes. Como árbol de sombra se usa en cultivos de café (Coffea arabica), té (Camellia sinensis), cacao (Theobroma cacao) y pastos. Como cultivo de apoyo (tutor) se conocen experiencias con vainilla (Vainilla fragans), pimienta (Piper nigrum) y ñame (Dioscorea spp.) (Beer, 1989).*

*Entre los usos del madre cacao destacan:*

*a) Producción de leña a través de setos o cercos vivos.*

*Plantándolo en hileras forma cercas vivas que funcionan como barreras rompevientos muy efectivas y protectoras contra el fuego. Por*

*su fácil y rápida propagación vegetativa sus ramas rebrotan fácilmente obteniéndose con las podas periódicas leña, abono y forraje.*

*b) Madera para construcción.*

*La madera es dura, pesada, resistente a la pudrición y a las termitas. Se utiliza en la construcción de viviendas, pilares, horcones, muebles, durmientes de ferrocarril, postes, implementos agrícolas, mangos de herramientas.*

*Flinta (1960) menciona que en El Salvador, el 70% de los durmientes de ferrocarril son de esta especie.*

*c) Para sombra y ornamento.*

*Se considera una especie ideal para sombra, utilizándose en plantaciones de cacao, café, vainilla y té.*

*Sus flores rosadas o lilas adornan parajes naturales, calles y avenidas (Magaña, 1991).*

*d) Como abono verde y como forraje.*

*Cuando la propagación es por estacas, se hace un corte de formación a los 15 meses para promover la producción de nuevos brotes. Si la planta es proveniente de semillas, se hacen varios cortes de formación y la producción se inicia a los 15 meses después del establecimiento. El volumen de forraje obtenido es mayor con el cultivo por estacas (Beer, 1989).*

*Por su capacidad de fijar el nitrógeno eficazmente, como toda leguminosa en simbiosis con Rhizobium sp. su follaje es rico en Nitrógeno por lo que las hojas que caen enriquecen al suelo.*

*Su follaje se puede cortar para utilizarlo como abono verde en los cultivos cercanos. Sus hojas constituyen un forraje nutritivo para el ganado vacuno, ya que son ricas en proteínas (20%) (Magaña, 1991).*

*En sistemas de cultivo en callejones en buenas condiciones, produce grandes cantidades de follaje, el máximo beneficio se deriva de la incorporación del follaje fresco al suelo; Puede completar o hasta sustituir el abono químico al producir entre 5 y 15 Tms/ha (CATIE, 1991, citado por Quintanilla, 1995).*

*e) En medicina popular.*

*Sus hojas frescas machacadas son aplicadas en cataplasma para úlceras, tumores o llagas de "Gangrena", para el jiole y muchas otras enfermedades cutáneas (Magaña, 1991).*

*f) Como alimento humano y fuente de miel.*

*Aunque según Magaña (1991) esta especie puede presentar cierta toxicidad (que posiblemente puede anularse con el cocimiento) para el humano, en El Salvador, en Guatemala y Honduras, las flores se comen fritas en tortas de huevo o salcochadas.*

*Sus flores son fuentes de alimento para abejas productoras de miel, por lo que en las plantaciones con esta especie se pueden introducir apiarios (Magaña, 1991).*

*Cuadro 2. Composición química proximal de la harina del fruto y de la semilla de madrecacao (G. sepium).*

	Humedad	Extracto etéreo	Fibra cruda	N %	Proteína	Ceniza	Carbohidratos	TOTAL
<i>Fruto seco (semilla vaina)</i>	7.4	5.6	25.3	2.5	15.8	5.7	40.2	100.0
<i>Semilla (harina entera)</i>	6.6	27.3	4.9	7.5	42.2	4.2	9.8	100.0

Fuente: Santamaría y Del Cid. (1998).

#### **2.1.9.2. Cajanus cajan**

*Es originario de la India o África Occidental, es un arbusto de 2-4 m de altura, con raíces pivotantes; tallos vellosos, a menudo leñosos, hojas trifoliadas, folíolos oblongo-elípticos a estrechamente lanceolados de 4-9 cm de largo, pubescentes, folíolo central con pecíolo más corto, aunque los laterales son sésiles, provistos a veces de pequeñas glándulas en la superficie, haz verde oscuro, a veces plateado pálido o grisáceo; inflorescencia en panículas terminales sobre pedúnculos erguidos, hasta 10 cm de largo; Flores amarillas a veces con estrías pardas o rojas, 2 cm de largo, cáliz de 4 a 5 lóbulos, estandarte vuelto hacia la base, fruto comprimido, con una depresión en diagonal, de color oscuro, semillas de 4-6 globulosas y algo aplastadas.*

*Crece en suelos pobres y con poco contenido de fósforo; el pH de 4.5-8.4 (óptimo 5.0-7.0); textura franca-arenosa a arcillosa. Algunas variedades toleran salinidad (Binder, 1997).*

*Esta planta es cultivada en forma extensa en los trópicos y subtrópicos, donde se le cosecha como grano o como verdura y también*

como alimento para el ganado. Se puede cultivar solo o intercalado con maíz, maicillo, cacahuate y algodón; como planta perenne de vida corta o bien, como cultivo terminal durante 3-4 años antes que la tierra vuelva a ser utilizada para producir cosechas anuales (López, 1992).

Cuadro 3. Composición de semillas (en %) de gandul (Cajanus cajan).

Humedad	Proteína	Grasas	ELN	Fibra	Ceniza
11.0	20.8	0.8	0.8	9.4	3.8

Fuente: Binder, 1997.

Si la finalidad es obtener grano, se debe sembrar en monocultivo entre el 15 de julio y la tercera semana de agosto. Cuando se intercala con maíz, este deberá estar doblado en la tercera semana de agosto para sembrar gandul (Rivera, 1999).

De 90 a 115 días después de la siembra, se puede recoger la cosecha, este puede dar de dos hasta tres cosechas por año según la disponibilidad de agua.

El CENTA recomienda usar 60 libras de semilla por manzana cuando se busca obtener forraje, si es para grano, bastarán 50 lbs (Rivera, 1999); según Binder (1997), se pueden ocupar de 25 a 35 lb/Mz sembrado en relevo con maíz o sorgo, al voleo o en surcos; para abono verde y cobertura, 50 cm de distancia entre surcos y 18 semillas/m lineal, la profundidad de siembra de 2.5-10 cm, las semillas pierden su viabilidad rápidamente.

Se conocen la variedad flavus (amarilla) y variedad bicolor (amarillo y rojo). Difieren entre sí por su ciclo y resistencia a plagas, enfermedades y sequía. Existen variedades precoces (ciclo de 90-150

días), variedades semitardías (ciclo de 150-220 días) y variedades tardías (más de 220 días). Las variedades de ciclo corto son altamente susceptibles a plagas (Binder, 1997).

Produce 700-950 qq/Mz de materia verde y 30-190 qq/Mz de materia seca (con fertilización hasta puede producir 450 qq/Mz). En relevo produce 60 qq/Mz, lo cual equivale a un aporte de 125 lbs de Nitrógeno al suelo (Binder, 1997).

Al igual que cualquier otra planta, el gandul puede ser afectado por plagas del suelo. El uso de pesticidas antes de la siembra, destruye o reduce las poblaciones de insectos o nemátodos hasta niveles aceptables (Rivera, 1999).

El follaje del gandul no es afectado por ninguna plaga o enfermedad de importancia económica. Raras veces se reportan casos de roya (Rivera, 1999).

Entre los usos del gandul se destacan:

a) Alimentación humana y animal.

Las semillas se utilizan en la alimentación humana; tienen un alto contenido de lisina y metionina, se preparan sopas, papillas y harina, las vainas y semillas sin madurar se usan para la preparación de ensaladas y conservas.

Las semillas se aprovechan como pienso (alimento) para el ganado, en las raciones para aves pueden constituir hasta el 30%. Asimismo, las vainas tiernas y las hojas pueden ser un excelente forraje (Binder, 1997).

Cuadro 4. Valor nutritivo de la planta del gandul (*Cajanus cajan*).

DETALLE	MS %	EN % de M.S						
		PC	FC	CENIZ A	EE	EL N	Ca	P
Fresco, finales del período vegetativo.	24.4	21. 4	30. 8	5.8	6.0	36. 0	0.8 9	0.2 4
Fresco, fase lechosa	49.7	18. 9	29. 7	5.7	5.3	40. 4	---	---
Heno	88.8	16. 7	32. 5	3.9	1.9	45. 0	---	---
Cáscaras de legumbres	93.0	6.7	38. 0	4.1	0.3	50. 9	1.1 0	0.0 9

Fuente: (Binder, 1997).

MS: Materia seca

PC: Proteína cruda

FC: Fibra cruda

EE: Extracto etéreo

ELN: Extracto libre de nitrógeno

Ca : Calcio

P : Fósforo

Cuadro 5. Análisis químico de diferentes partes de la planta de gandul (*Cajanus cajan*).

DETALLE	Humedad %	Proteína cruda	Fibra cruda	Ceniza	Grasa
Forraje verde	7.0	7.1	11.0	2.7	1.6
Planta entera (heno)	11.2	15.0	29.0	3.5	1.7
Harina de granos y vainas	11.5	18.0	31.0	3.8	1.5
Harina de grano seco	12.3	22.3	6.4	3.5	1.4
Harina de vainas	13.3	9.0	35.4	2.6	1.0

Fuente: (López, 1992).

*b) Como planta forrajera.*

*El potencial como forraje verde es moderado. Los cortes, igual que el pastoreo, se realizan cuando las primeras vainas comienzan a madurar. El gandul no persiste al someterlo a un pastoreo intenso y es un excelente forraje remanente.*

*Para asegurar la persistencia puede dejarse crecer hasta unos 125 cm de altura y cortarse hasta 60-80 cm de la superficie del suelo, nunca se debe cortar a ras del suelo porque las plantas no se recuperan; cortes a una altura menor de 0.8 m reducen la supervivencia de la planta. (Binder, 1997).*

*López (1992), recomienda hacer los cortes en el período de pre-floración que es donde se presenta mayor valor nutricional, o sea entre 75-90 días después de la siembra.*

*El follaje del gandul contiene proteínas, calcio y cantidades importantes de tiamina, niacina, hierro y fosfato.*

*c) Contribución al mejoramiento del suelo.*

*Es un cultivo que aporta gran cantidad de nitrógeno (65-435 lbs/Mz/año), ya que su capacidad de fijación es alta, la cosecha de granos reduce la contribución de Nitrógeno. Hojas, tallos y raíces leñosas aumentan el contenido de carbono orgánico y mejoran la estructura del suelo; así también ejercen un control sobre la compactación, erosión y desarrollo de hiervas invasoras (Binder, 1997).*

## **2.2. Las barreras vivas.**

*Consiste en el establecimiento de hileras o fajas antierosivas de plantas perennes (árboles, arbustos, gramíneas) con especies de rápido y denso crecimiento, plantados en forma transversal a la pendiente siguiendo las curvas de nivel en el terreno.*

*La función principal del conjunto de barreras vivas es reducir la velocidad del agua de escorrentía y disminuir la pérdida del suelo provocada por las lluvias.*

*Las barreras vivas se pueden integrar a los sistemas tradicionales de producción, especialmente en áreas donde dominan los granos básicos, el cultivo de piña, las hortalizas y en fincas con café y en aquellas dedicadas a la fruticultura.*

*El sistema de barreras vivas puede plantarse especialmente en terrenos quebrados y en suelos con pendientes mayores del 25%, así como en sitios pobres expuestos a la erosión provocada por la lluvia.*

### **2.2.1. Ventajas potenciales.**

- 1- Reduce pérdidas de suelo y agua, retiene los sedimentos arrastrados por la escorrentía a lo largo de la barrera viva.*
- 2- Recupera y aumenta la fertilidad natural del suelo especialmente cuando se usan especies fijadoras de nitrógeno.*
- 3- Aumenta el contenido de materia orgánica, mejora la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrimentos en beneficio de los cultivos.*

- 4- *Reduce el desarrollo de malezas por efectos de sombra y por la incorporación de material vegetal al suelo.*
- 5- *Favorece la infiltración de agua y mantiene la humedad en el suelo por más tiempo, especialmente en zonas secas.*
- 6- *Protege los cultivos y la capa vegetal del suelo de los efectos de vientos fuertes.*
- 7- *Favorece el crecimiento de macroorganismos y microorganismos benéficos para el suelo.*
- 8- *Suministra recursos disponibles tales como leña, estacas / postes, forraje, abono verde y otros productos para ser utilizados dentro y fuera de la finca (Lanuza, 1997).*

### **2.2.2. Posibles desventajas.**

*Mayor exigencia en el uso de mano de obra adicional especialmente en la etapa de establecimiento y al momento de realizar las podas. Necesidad de seleccionar especies apropiadas para el manejo y la sostenibilidad de las barreras.*

*En suelos marginales y altamente degradados, el crecimiento de las especies es lento. En fincas que tienen ganado, las barreras vivas son dañadas por el pastoreo, es necesaria la protección (Lanuza, 1997)*

### **2.2.3. Selección de especies.**

*Algunos criterios importantes para seleccionar las especies en las barreras vivas son las condiciones del sitio: la precipitación y su distribución, altitud, temperatura y tipo de suelos; así mismo se deben*

*tener conocimientos básicos sobre su cultivo, manejo y usos potenciales con el fin de seleccionar especies idóneas.*

*Las especies leguminosas leñosas se prefieren por su gran capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Para la selección de especies en barreras vivas, las características deseables son las siguientes:*

- *Crecimiento rápido, fácil establecimiento y manejo.*
- *Sistema radicular profundo*
- *Capacidad de fijar nitrógeno y otros elementos*
- *Buena producción de follaje y suministro de otros productos.*
- *Alta capacidad de rebrotar y ser tolerante a podas frecuentes.*
- *Que la especie no sea invasora.*

*En el siguiente cuadro se presentan las especies más usadas en el sistema de barreras vivas.*

*Cuadro 6. Algunas especies usadas frecuentemente como barreras vivas en fincas de productores en Nicaragua.*

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
1. Madero negro	Gliricidia sepium
2. Leucaena	Leucaena leucocephala
3. Calliandra	Calliandra calothyrsus
4. Gandul	Cajanus cajan
5. Marango	Moringa oleifera
6. Zacate limón	Cymbopogon citratus
7. Piña	Ananas comosus

*El madero negro es una especie excelente en comparación con otras, debido a su gran adaptabilidad a condiciones secas y húmedas. Es de fácil propagación por siembra directa, por estacas y plantas en bolsas producidas en viveros; tiene capacidad de fijar nitrógeno y otros elementos nutritivos, también es usado en otros sistemas como cercos vivos, sombra para café y cacao.*

*El gandul es otra especie muy utilizada en barreras vivas, es útil porque produce alimento, forraje y mejora el suelo en corto plazo, pero su ciclo es muy corto y no tolera bien las podas, presenta también el inconveniente de que entre las plantas quedan muchos espacios abiertos originando escorrentías y pérdidas de suelo.*

#### ***2.2.4. Manejo de las barreras vivas.***

*El manejo constituye un medio para lograr los objetivos de producción de los agricultores, sin permitir que la misma se desvíe de sus objetivos principales: proteger el suelo, aumentar y/o mantener su productividad a través del manejo y el uso adecuado de la biomasa vegetal.*

*La poda total tiene como propósito la producción de material vegetal proveniente de los cortes para ser incorporados al suelo. La biomasa vegetal puede ser utilizada de dos formas:*

- Como abono verde para ser incorporado y distribuido por toda la parcela agrícola, entre más corta sea la distancia entre cada barrera, habrá mayor producción de biomasa y se obtienen mejores resultados respecto a la fertilidad del suelo.*
- La segunda forma de utilización es como material leñoso, el cual puede ser utilizado para combustible (leña) y estacas si existen*

*necesidades de leña que no puedan ser abastecidas por otra fuente dentro de la finca.*

*La altura de poda más conveniente de las especies arbóreas es a un metro sobre el suelo.*

*La primera poda debe hacerse de acuerdo al crecimiento de las especies, dependiendo de las condiciones del sitio; generalmente se realizan durante el primer o segundo año de establecidas según los objetivos de producción.*

*La época de poda más conveniente para las especies arbóreas debe ser durante la etapa de establecimiento de los cultivos con una frecuencia de 6 meses a 1 año.*

*Para la producción de estacas y leña hasta los 2 ó 3 años, se toma en cuenta la época de plantación para las estacas. La poda se realiza con machete bien afilado y el tipo de corte recomendado es de abajo hacia arriba, para evitar daños y mortalidad de los rebrotes cortados. Si se hace una poda adecuada, se obtiene una cicatrización rápida y sana en la parte donde se realiza el corte (Lanuza, 1997).*

#### **2.2.5. El zacate vetiver (*Vetiveria zizanioides*), barrera contra la erosión del suelo.**

*El zacate violeta o vetiver es una gramínea herbácea perenne que crece en macollas tupidas. Las hojas y los tallos no poseen aristas, son resistentes y son lisas al tacto, no poseen rizomas ni estolones; posee una masa radicular muy ramificada y esponjosa, los tallos alcanzan hasta 1.5 m de altura (Sandoval, 1994).*

*La raíz puede alcanzar una longitud de tres metros cuando las condiciones del suelo son favorables, esto permite que forme una densa*

*cortina subterránea, que evita la formación de surcos, cárcavas y túneles subterráneos.*

*El aceite aromático de la raíz, hace que resulte desagradable para ratas y otros animales que causan daños a los cultivos. Este mismo cerco subterráneo evita que penetren al predio agrícola las raíces de malezas que tienen crecimiento rastrero y son altamente invasoras como el barrenillo (Banco Mundial, 1995).*

*Naturalmente es una hidrófita, pero crece muy bien bajo condiciones xerófitas; no crece cuando la temperatura del suelo es inferior de 12° a 15° C. Crece desde el nivel del mar hasta más de 2000 m.s.n.m, está limitada por las temperaturas bajas en altitudes más altas y con nubosidad.*

*Resiste las sequías extremas pero normalmente requiere que la época de lluvias dure por lo menos 3 meses. Es una planta (C4) que requiere pleno sol para desarrollarse, se puede establecer y crecer adecuadamente en condiciones con 40% de sombra, con más de este porcentaje es difícil establecerse (Netscape, 1998).*

#### **2.2.5.1. Suelos.**

*El vetiver prefiere los suelos arenosos profundos; Sin embargo crece bien en un rango amplio de suelos. Puede crecer en pedregales, suelos ácidos o alcalinos. Resiste niveles tóxicos de metales como aluminio, manganeso (550 ppm) y condiciones sódicas y salinas, resiste inundaciones por largos períodos y también crece bien en suelos poco profundos (Netscape, 1998).*

#### **2.2.5.2. Variedades y cultivares.**

*Hay 10 especies conocidas del pasto vetiver y cientos de cultivares diferentes que muestran diferencias fenotípicas distintas, por ejemplo: tipos gruesos, con hojas fuertes y rectas pueden soportar agua de velocidades altas y probablemente son mejores para el control de erosión en cárcavas; los tipos que son más suaves son mejores para forraje (Netscape, 1998).*

#### **2.2.5.3. Propagación.**

*Por división de raíces. Si hay mucho material vegetativo disponible en barreras ya existentes, esas barreras pueden dividirse. Cuando el material es escaso entonces se requieren viveros para multiplicarlo. Dependiendo de las lluvias y tipos de suelos, un tallo puede producir de 25-50 tallos nuevos en 6 meses (Netscape, 1998).*

*Cuando el material de siembra se obtiene de barreras de protección, debe esperar por lo menos 1 año para que esta alcance un buen amacollamiento. La obtención del material debe hacerse de forma intercalada, a fin de no debilitar el cerco formado y evitar que este disminuya su control contra la erosión (Banco Mundial, 1995).*

#### **2.2.5.4. Plagas y enfermedades.**

*Generalmente, el vetiver resiste la mayoría de plagas y enfermedades, parece ser susceptible a enfermedades cuando es débil y no crece bien, principalmente en suelo no muy profundo en asociación con condiciones de sequía extrema (Netscape, 1998).*

### 2.2.5.5. Usos del vetiver.

#### a) Como barrera viva.

Según Sharma (1993), en muchos casos cuando existen problemas de pequeñas cárcavas es muy usada la tecnología de barreras vivas de hierbas de alto crecimiento.

Actualmente el vetiver, es utilizado en más de 86 países y 20,000 has. Se encuentran en el sur de la India (Kass, s.f.).

El vetiver como barrera viva es una hilera de plantas de crecimiento denso, dispuestas con determinado distanciamiento horizontal y sembradas a través de la pendiente casi siempre en contorno o en curvas de nivel (M.A.G., 1975).

Para cultivos limpios, el MAG recomienda los distanciamientos presentados en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Distanciamientos de barreras vivas en cultivos limpios según la pendiente.

Pendiente del terreno (%)	Distanciamiento horizontal (m)
5	20
10	15
15	10
20	9
25	8
30	6
35	6
40	6

Fuente: MAG. 1995.

- b) Aceite aromático (de las raíces) para la industria*
- c) Perfumería*
- d) Material para hacer techos*
- e) Artesanías*
- f) Forraje (cuando sea manejado para este fin)*
- g) Mulch*
- h) Papel*
- i) Conservación del suelo y agua*
- j) Usos medicinales*
- k) Repelente de insectos.*

#### **2.2.5.6. Principales características agronómicas del zacate vetiver.**

- *Zacate permanente.*
- *Follaje denso y de amacollamiento rápido*
- *Raíces fuerte y fibrosas, capaces de penetrar hasta una profundidad de tres metros.*
- *Resistente al fuego, inundaciones, sequías, plagas y enfermedades.*
- *Capacidad de crecer en suelos pobres*
- *No se convierte en maleza, ya que no es invasor.*
- *Utiliza poco espacio para desarrollarse (Banco Mundial, 1995).*
- *Resistente a pastoreo y fuego.*
- *El zacate se siembra fácilmente.*
- *No compite con las cosechas adyacentes.*
- *Es una barrera para demarcar límites*

- *Es una alternativa biológica a la conservación de suelos.*
- *Las raíces se utilizan para extraer el aceite (Sandoval, 1994).*

### **2.3. Sistemas de abono verde.**

*Conceptos:*

- *En el sentido más amplio y de acuerdo al uso más común se definen como abonos verdes, aquellas cosechas que están destinadas a devolverlas al suelo para mejorar sus propiedades, ya sea incorporándolas al suelo o dejándolas sobre él para brindarle protección superficial (Binder, 1997).*
- *Es la práctica de utilizar plantas preferiblemente leguminosas en rotación, asocio o sucesión con otros cultivos, con el objetivo de incorporarlos al suelo o dejarlos en la superficie para mejorar la fertilidad del mismo (A.S.D.I., 1997).*

*La vegetación es la más poderosa defensa de los suelos contra la erosión. Así mientras crece la planta utilizada como abono verde y como cobertura, el terreno se halla protegido de la acción destructora de las aguas procedentes de las lluvias. Al enterrar el follaje, la materia orgánica que se incorpora al suelo ayuda también a mejorar las condiciones físicas y químicas de este y con ellas su resistencia a la erosión (Suárez de Castro, 1979).*

*Se logra una mayor descomposición del abono verde, si éste se incorpora sobre la superficie, de lo contrario, si éste se entierra muy profundo, no se descompone y no es aprovechado por las plantas. Para realizar esta práctica, es necesario chapodar todo el material verde y*

*dejarlo esparcido sobre la superficie del terreno como cobertura, se siembra el cultivo deseado en agujeros entre la materia orgánica. Así el abono verde se descompone lentamente y es aprovechado por las plantas por más tiempo (A.S.D.I., 1997).*

### ***2.3.1. Características de las plantas usadas como abonos verdes.***

- *Adaptación a las condiciones locales (crecimiento vigoroso).*
- *Tolerancia a las plagas y enfermedades, sequía y otras adversidades.*
- *Buen rendimiento en producción.*
- *Mejoran el suelo (fertilidad natural).*

### ***2.3.2. Características de plantas usadas como abonos verdes, para intercalar con los cultivos principales.***

- *Habilidad de crecer con el cultivo principal (tolerante a la sombra).*
- *Capacidad de dejar crecer al cultivo principal (que crezca pero que no haga competencia demasiado fuerte).*
- *Incrementa el nivel de producción en los cultivos el año siguiente.*
- *Control de malezas (se logra mejor control con abonos verdes de crecimiento rápido y de hoja ancha).*
- *Control de la erosión.*

### ***2.3.3. Funciones de los abonos verdes.***

- *Protege el suelo del impacto de las gotas de lluvia.*

- *Ayuda a la infiltración de agua en el suelo, por el efecto combinado entre las raíces y la cubierta vegetal.*
- *Aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo.*
- *Reduce las pérdidas de agua por evaporación.*
- *Recupera suelos degradados a través de la producción de raíces.*
- *Disminuye la pérdida de nutrientes.*
- *Reduce la población de hierbas invasoras (A.S.D.I., 1997).*

*La incorporación al suelo de material orgánico, ya sea en forma de abono, de estiércol o de abono verde, suele ser muy eficaz para reducir la erosión y el desagüe, mejorando la condición estructural del suelo, la materia orgánica mejora su aireación y aumenta su capacidad para conservar la humedad y cederla prontamente a las raíces de las plantas (Bennett, 1965).*

#### **2.4. Erosión.**

*En principio se ha definido a la erosión como un fenómeno geológico o inducido que consiste en la disgregación y transporte de las partículas del suelo.*

*En efecto se ha demostrado que la lluvia posee una capacidad muy grande de disgregación, pero su poder de transporte es bajo; lo contrario sucede con el flujo superficial, es decir, puede transportar grandes cantidades de suelo, pero su capacidad de disgregación es reducida en comparación con el efecto de la lluvia.*

*En forma similar, las partículas de arena fina son más fácilmente disgregadas que las partículas arcillosas de un suelo, pero es más fácil transportar las partículas de arcilla que las de arena.*

*La pérdida de suelo por erosión en un terreno puede ser de dos tipos, natural y acelerada. Cuando este proceso se produce sin la influencia del hombre, se conoce como erosión normal, geológica o natural, en este caso el suelo es regenerado por medios naturales al mismo ritmo en que queda eliminado. Dicho de otra forma suelo y vegetación se hallan en un estado de equilibrio.*

*Tan pronto la vegetación natural queda perturbada, por ejemplo, por el cultivo, el pastoreo o las quemas, el equilibrio natural queda alterado y el suelo queda expuesto a la acción directa de dos de las causas más potentes de erosión: el agua y el viento. En estas condiciones el suelo puede regenerarse, lo que da por resultado una pérdida neta de suelo, esto se conoce como erosión acelerada (Constantinesco, 1976).*

*Se considera que la erosión de los suelos se debe a la remoción del suelo a una tasa mayor que la de su formación y se atribuye principalmente al hombre y a sus actividades.*

*La erosión elimina la capa superficial del suelo, la cual contiene una proporción alta de materia orgánica y las fracciones minerales más finas que proporcionan agua y elementos nutritivos para el crecimiento de las plantas (Kirkby, 1993).*

### **2.4.1. Influencia del suelo en la erosión**

*El riesgo de erosión de un terreno no depende tan solo de la constitución y condiciones del suelo de la superficie. Un suelo en que las capas superficiales sean sueltas y porosas y cuyas capas más inferiores y el subsuelo sean también abiertas y de textura media, tendrá una capacidad de retención del agua relativamente alta.*

*Una vez que se haya saturado la capa superficial, los nuevos volúmenes que caigan o se apliquen sobre el suelo, cualquiera que sea su origen, escurrirán sobre la superficie con la consiguiente pérdida de suelo, en las áreas inclinadas. Por tanto, la naturaleza del subsuelo tiene gran importancia.*

*La profundidad y la capacidad de retención de agua de los suelos tienen mucha influencia en la erosión de los mismos. Los suelos profundos, abiertos y porosos, especialmente cuando poseen una textura media con gran proporción de espacios vacíos, tienen una gran capacidad de infiltración. El agua absorbida no escurre sobre la superficie y por tanto, no produce erosión.*

*El tamaño de las partículas del suelo determina, en general, el tamaño de los espacios vacíos entre ellas y por tanto, influye directamente sobre la rapidez con que el suelo puede absorber el agua. Un suelo de arena gruesa, por ejemplo, absorbe el agua con mucha facilidad y el agua escurrida durante las lluvias sobre su superficie, es poca o ninguna. Tal suelo no será arrastrado en cantidad importante durante una lluvia moderada.*

*La materia orgánica, evita la erosión al ayudar al establecimiento de una estructura granular conveniente en el suelo. Esta estructura*

*aumenta la percolación y la absorción de agua lluvia por el suelo. El resultado es un menor escurrimiento y por consecuencia menos erosión.*

*Aparte de su efecto sobre la estructura y granulación del suelo, la materia orgánica actúa como una esponja, al absorber y retener el agua para su uso por las cosechas (Constantinesco, 1976).*

#### **2.4.2. Tipos de erosión.**

##### **2.4.2.1. Erosión laminar.**

*La forma más común y probablemente la que más daño hace es la remoción uniforme, de una delgada capa de lámina de suelo. Normalmente, el suelo es desprendido por acción del impacto de las gotas de lluvia y no por el flujo de agua laminar, cada esorrentía luego remueve algo de suelo.*

*Si la superficie se suaviza luego con las labores culturales, es difícil reconocer si algo de suelo se ha perdido.*

##### **2.4.2.2. Erosión interna.**

*Es el resultado del impacto de las gotas de lluvia en el suelo, ocasionando el lavado de las partículas del suelo hacia las grietas y poros del suelo. En esta forma el suelo se vuelve menos permeable al agua y aire.*

#### ***2.4.2.3. Erosión por surcos o canales.***

*Ocurre cuando el agua superficial se concentra, así el agua como masa en movimiento suministra la energía para el desprendimiento y transporte del suelo. Existe como erosión por surcos, cárcavas y quebradas o corrientes (ríos).*

#### ***2.4.2.4. Erosión por movimientos masivos del suelo.***

*A veces es la acción lubricante del agua que percola lentamente y no su energía cinética, la que causa la erosión.*

*Esta ocurre donde hay una capa de arcilla que se satura con agua y permite que la masa de suelo resbale hacia abajo (Low, 1967).*

#### ***2.4.3. Métodos empleados para la cuantificación de las pérdidas por erosión***

*No siempre es fácil cuantificar la erosión que está ocurriendo aún cuando se mantenga un área determinada bajo observación permanente. La medición de la cantidad de suelo perdido requiere la presencia de algunos puntos de referencia y bajo condiciones naturales, tales puntos son difíciles de detectar. Entre los principales métodos para cuantificar la capa de suelo erosionada según Llerena (1987), están:*

#### **2.4.3.1. Clavos con rondanas.**

*Este método consiste en utilizar clavos de 30 cm de largo con rondanas holgadas que se colocan cuidadosamente a lo largo de un transecto a intervalos regulares, de manera que la rondana descansa sobre la superficie del suelo y la cabeza del clavo la toque ligeramente.*

*El propósito de las rondanas es marcar cortes en el terreno ocasionados por erosión y de esta forma medir el espesor de la capa del suelo perdida a intervalos de tiempo regulares.*

#### **2.4.3.2. Tapas o corcholatas de botella.**

*Las tapas o corcholatas de botellas colocadas con el lado interno hacia el suelo, producen pedestales similares a los formados naturalmente bajo piedras o raíces. La altura del pedestal indica la profundidad del suelo perdido.*

*Para determinar la pérdida de suelo en metros cúbicos por hectárea, se recomienda distribuir cuatro corcholatas en una superficie de 50 x 50 m (o bien 16 corcholatas en una hectárea), en forma de zigzag y procurar que éstas queden separadas a 10 m. El promedio de pérdida de suelo en milímetros en todas las corcholatas, se multiplica por diez para obtener la pérdida de suelos en metros cúbicos por hectárea.*

#### **2.4.3.3. Lotes de escurrimiento.**

*Constituyen la metodología más confiable para determinar las pérdidas de suelo por efecto de erosión hídrica.*

*Consiste en el confinamiento de una pequeña superficie, donde es posible manejar y cuantificar los escurrimientos generados en ella para que posteriormente y por medio de muestras, cuantificar los sedimentos que acarrearán en suspensión.*

*El tamaño del lote puede ser variable, pero la diversidad en la forma y tamaño de éstos dificulta la comparación de los resultados.*

*Las dimensiones adoptadas en investigación como más representativas para estimar pérdidas por erosión son de 2 x 10 m.*

#### **2.4.3.4. Método de varillas de erosión**

*Las varillas de erosión son generalmente metálicas y pueden usarse como tales: clavos, hierro de construcción, barras angulares, varillas de soldadura, etc. Pueden usarse también estacas de madera o plástico. Una reducción en la exposición de la varilla implica depósito y un aumento implica pérdida de suelo en ese punto.*

*Para la obtención del dato final de erosión se precisa conocer la distancia inicial y la distancia final, siendo la diferencia la pérdida de suelo ocurrida.*

*El instrumento de medición puede variar desde una simple regla graduada hasta sistemas micrométricos con accesorios especiales. El tamaño de las varillas debe ser adecuado al monto de erosión esperado: 25 cm de largo y de 5 a 8 mm de espesor, son dimensiones convenientes.*

*La disposición de las varillas individuales en puntos críticos a varillas de contorno o en grupos, según las condiciones del terreno y el tipo de erosión predominante en el área.*

#### **2.4.4. Pérdida de suelo.**

*Según estudios realizados en cuanto a pérdida de suelo, comparando dos parcelas, una con manejo tradicional y la otra con cero labranza, demostraron que se pierde de 9.1 tn/ha de suelo en parcelas con manejo tradicional, mientras que en la otra fue de 0.95 tn/ha.*

*A pesar que en la parcela de cero labranza presentaba una mayor pendiente, la pérdida de suelo fue menor que en la parcela manejada tradicionalmente. De esto se deriva la conclusión de que no es la cantidad de lluvia la que determina un mayor arrastre de partículas de suelo, si no la intensidad con que caiga y la frecuencia con que se presenta.*

*La humedad en los suelos es un factor importante si un suelo retiene por más tiempo la humedad dentro de ciertos límites, es beneficioso para las plantas, ya que estarán menos expuestas al déficit de agua con sus consecuencias indeseables (Ramos Oliva, 1997).*

*Los factores que determinan la pérdida de suelo son la intensidad y la duración de la lluvia, la distribución del tamaño de las partículas del suelo y las propiedades relacionadas con esto, como son la textura y la estructura superficial, así como la forma de su pendiente (Kirkby, 1993).*

*Es importante resaltar que uno de los principales factores en la conservación del suelo es su fertilidad, ya que un suelo fértil ofrece una protección vegetal más adecuada (Frank Low, 1967).*

*La tierra desnuda y arable es la más susceptible a la erosión hídrica y se pueden perder grandes cantidades de suelo con una sola tormenta o durante una estación lluviosa. En los EE.UU. Se ha registrado tasas de erosión mucho mayores hasta más de 20Kg/m<sup>2</sup>/año, equivalente a 100 Tn/ha/año. (Kirkby, 1993).*

*Investigaciones realizadas en diferentes partes de los EE.UU. en suelos cuyas pendientes oscilan entre 4-30%, la cantidad de suelo perdido, en áreas cultivadas, frecuentemente llegan a 50 tn/ha. (Low, 1967).*

*En tierras occidentales de Guatemala, se reportan pérdidas de suelo de 5-35 tn/ha/año (Leonard, 1986). Aunque los cultivos limpios son los más susceptibles a la erosión, en el caso de que siembren densamente en un suelo fértil, pueden ofrecer una buena protección contra la erosión hídrica. Por ejemplo un estudio realizado en Rhodesia, muestra los siguientes resultados.*

*Cuadro 8. Pérdida de suelo en tn/ha, según estudios realizados en Rhodesia..*

CULTIVO	PLANTAS POR ha.	NIVEL DE FERTILIDAD	PÉRDIDA DE SUELO Tn/ha/Año.
Maíz	37,000	Alto	2.96
Maíz	25,000	Medio	10.03
Suelo desnudo	-----	-----	277.00

*Fuente: Frank Low, 1967.*

*Las pérdidas de suelo que resultan de la erosión hídrica, van acompañadas de fenómenos peligrosos, como el empobrecimiento del suelo cultivado, cuando no se hace ningún esfuerzo especial por compensar las pérdidas de elementos fertilizantes o contrarrestar la aparición de una evolución perjudicial de las propiedades del suelo.*

*A menudo se cree que un suelo que posee un cierto nivel de fertilidad lo conserva a lo largo de toda su evolución. En esencia la sustitución de una vegetación natural por una vegetación cultivada, acompañada del laboreo necesario del suelo, del aporte de abonos y enmiendas, la extracción de cosechas, etc. modifica inevitablemente numerosos procesos de evolución; pero esta modificación no tiene ninguna consecuencia peligrosa si el laboreo del suelo y la utilización del terreno son racionales. Si esto no ocurre, puede tener consecuencias peligrosas (Fournier, 1975).*

*Aunque las tasas de erosión de suelo también son altas en áreas menos pobladas, la causa principal no es tanto la presión de población y la explotación agresiva de casi toda la tierra disponible, que es responsable directa de la erosión del suelo en las tierras altas. Más bien la erosión del suelo tiende a presentarse como resultado del ciclo de la deforestación que, frecuentemente culmina con la pérdida de fertilidad del suelo.*

*Los suelos recientemente expuestos, a menudo, pierden su fertilidad natural rápidamente, como resultado de la compactación y las malas prácticas agrícolas.*

*Este patrón de uso extensivo de la tierra conduce a la pérdida o disminución de la fertilidad (Leonard, 1986).*

*La participación de los productores en el proceso fue valiosa, colaborando en el desarrollo de ciertas actividades de campo, como: mantenimiento de las barreras de vetiver, poda de las leguminosas y el manejo de los cultivos; además de haber sido una fuente importante de información durante la investigación*

#### **3.4. *Diseño y tamaño de las parcelas.***

*Cada parcela (una en cada localidad) tiene un área aproximada de 3,000 m<sup>2</sup>.*

*En cada una de estas se delimitaron tres sub-parcelas de 1000 m<sup>2</sup> correspondiente a tres tratamientos en estudio (Figura A-1).*

#### **3.5. *Material y equipo.***

*Los materiales utilizados fueron: Varillas de hierro de 1/8 pulgada, 1 machete, cola de zorro, cintas métricas, rollos de fotografía y diapositivas, papel Bond, bolsas plásticas, baldes, cajas de aluminio, sierras, limas, palas, martillos.*

*Dentro del equipo se encuentra: La balanza de reloj, pluviómetro, balanza semi analítica, estufas, muestreadores de suelo.*

### 3.6. *Tratamientos evaluados.*

#### *Tratamiento Testigo (T<sub>0</sub>).*

*Correspondió a la parcela manejada en la forma tradicional como el agricultor lo realiza. El área de estudio fue de 1000 m<sup>2</sup>, el sistema de cultivo fué maíz – frijol en relevo. Para el caso del maíz se usó la variedad H-59, cuya siembra se realizó con chuzo a 20 cm entre planta y 90 cm entre surco, al inicio de las lluvias. Para el frijol se usó la variedad DOR-482 y se sembró en agosto entre los surcos de maíz. En este tratamiento se realizó únicamente la incorporación de rastrojos de la cosecha anterior.*

#### *Tratamiento madrecaao + vetiver (T<sub>1</sub>).*

*Consistió en el sistema maíz – frijol en relevo, entre callejones de madrecaao + protección de vetiver. El área de estudio también fue de 1,000 m<sup>2</sup>, las variedades de maíz y frijol así como los distanciamientos de siembra, fueron los mismos que el testigo.*

*El madrecaao (Gliricidia sepium) estaba sembrado en un distanciamiento de 0.75 m entre postura y 0.45 entre surco (2 surcos). A 0.45 m abajo del madrecaao había una barrera viva de vetiver (Vetiveria zizanioides) con un distanciamiento de siembra de 0.10 m entre macolla.*

*En este tratamiento también se hizo incorporación de rastrojos de la cosecha anterior.*

### **Tratamiento Gandul + Vetiver (T<sub>2</sub>).**

*Este tratamiento consistió en el sistema maíz -- frijol en relevo entre callejones de gandum + protección de vetiver.*

*El área de estudio también fue de 1,000 m<sup>2</sup>, la variedad del maíz y el frijol así como también los distanciamientos de siembra son los mismos que el T<sub>0</sub> y T<sub>1</sub>.*

*También hubo una barrera viva de vetiver abajo del gandum con el mismo distanciamiento que en el tratamiento T<sub>1</sub>. El gandum (Cajanus cajan), se había sembrado en dos surcos con un distanciamiento de 0.45 m entre surco y 0.20 m entre postura. También se hizo incorporación de rastrojos de la cosecha anterior.*

### **3.7. Variables evaluadas.**

#### **3.7.1. Pérdida y/o acumulación de suelo.**

*Para medir esta variable se utilizó el método de los pines. Se colocaron 75 pines por parcela (25 en cada tratamiento) distribuidos a lo largo de las barreras de vetiver y entre los callejones formados por las leguminosas y vetiver, en forma diagonal y longitudinal (Figura A-1), cada pin (Barilla de ¼") tenía una longitud de 50 cm de los cuales se enterraron 25 cm, quedando los otros 25 cm sobre la superficie del suelo. Las lecturas fueron hechas mensualmente durante la época lluviosa. Las lecturas con valores mayores de 25 cm fueron consideradas como negativas e indican pérdida de suelo y los valores menores de 25 cm fueron considerados como lecturas positivas e indican acumulación de suelo.*

*La pérdida o arrastre de suelo dentro de las parcelas, se midió en el último año de la validación del sistema, no así la acumulación de suelo en las barreras de vetiver que se comenzó a medir a partir del tercer año de evaluación del sistema, cuando se incorporó la Universidad de El Salvador.*

### **3.7.2. Rendimiento de los cultivos.**

*La producción de grano tanto de maíz como de frijol se midió basándose en un muestreo de un área de 5 m de largo y 4 surcos por callejón en cada uno de los tratamientos (Figura A-2).*

### **3.7.3. Producción de biomasa.**

*La producción de biomasa de las leguminosas y vetiver, se midió en base a muestras tomadas durante la fase de desarrollo de los cultivos. Un primer muestreo se realizó en julio y un segundo en octubre. Se muestreó una longitud de 5 m en cada barrera y por tratamiento (Figura A-2). Tanto las muestras de leguminosas como de vetiver, fueron pesadas para determinar posteriormente la producción total.*

*El procedimiento consistió en cortar con una cola de zorro el madrecazo a una altura de 50 cm sobre el nivel del suelo; para el vetiver se utilizó un corvo y el corte se hizo a una altura de 30 cm sobre el nivel del suelo, en el caso del gandul solo se realizó un muestreo en Ciudad Arce, ya que luego se perdió por problemas de humedad y pudrición.*

#### **3.7.4. Humedad.**

*Para determinar el porcentaje de humedad del suelo, se utilizó el método del cilindro. Se hicieron dos muestreos, uno en diciembre y otro en febrero. Se establecieron tres puntos de muestreo por callejón, en cada tratamiento, distribuidos en forma lineal y en dirección de la pendiente (Figura A-3). En cada punto se tomaron dos muestras, una de 0 a 10 cm de profundidad y la otra de 10-20 cm. Estas muestras fueron secadas en estufa durante 24 horas a 105° C y por diferencias de pesos se obtuvo el porcentaje de humedad en cada localidad.*

*Esta variable se comenzó a medir a partir del tercer año de evaluación (1997).*

*El porcentaje de humedad del suelo se determinó por diferencia de pesos, utilizando la siguiente fórmula:*

$$\%H = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100$$

*Donde:*

*%H : Porcentaje de humedad*

*PSH: Peso de suelo húmedo*

*PSS: Peso de suelo seco.*

#### **3.7.5. Fertilidad.**

*Como producto de la incorporación en el suelo del material verde, proveniente de la poda de las leguminosas, se espera al final de la cosecha de los cultivos que la fertilidad del suelo en los tratamientos*

*conservacionistas sea diferente a la del tratamiento testigo, en base a esto para medir esta variable, fue necesario tomar dos muestreos superficiales de suelo (de 0 a 20 cm de profundidad), uno antes de la siembra del maíz (abril) y el otro después de la cosecha del frijol (diciembre).*

*Se tomaron al azar 5 sub muestras por callejón/tratamiento, de las cuales se obtuvo al final una muestra representativa por cada tratamiento, la cual fue realizada en el laboratorio.*

### ***3.7.6. Rentabilidad del sistema.***

*Para evaluar esta variable se decidió utilizar el presupuesto parcial, análisis de dominancia y la tasa de retorno marginal, considerando que el aspecto económico es importante para determinar la adopción o no de una tecnología.*

#### ***3.7.6.1. Presupuesto parcial.***

*Representa la forma más sencilla de análisis presupuestario, es una manera de calcular el total de los costos que varían y los beneficios netos y brutos de cada tratamiento en un experimento y mostrar así el incremento o decremento del ingreso neto como consecuencia de los cambios propuestos.*

### **3.7.6.2. Análisis de dominancia.**

*Es una herramienta económica en la que los beneficios netos se ordenan de manera descendente; permitiendo visualizar la dominancia de un tratamiento sobre otro y facilitar así el análisis marginal.*

### **3.7.6.3. Tasa de Retorno Marginal.**

*Este indicador económico nos dice el capital retornable o perdido por cada colón invertido, al pasar de una tecnología a otra.*

*La tasa de retorno marginal resulta de dividir la diferencia de los beneficios netos entre la diferencia de los costos variables totales de cada tratamiento.*

### **3.7.7. Interés y participación de los productores.**

*Para evaluar esta variable, se utilizó una herramienta importante, en la buena dirección y desarrollo de cualquier investigación, como lo es la evaluación participativa. Esta pretende que los productores y técnicos realicen una valoración de la tecnología en estudio, comparada con la práctica local.*

*En esta evaluación participaron los dueños de las parcelas; agricultores vecinos y técnicos. La opinión de cada uno de ellos jugó un papel importante en el fortalecimiento del estudio.*

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Es importante mencionar que en el país casi no se cuenta con información disponible sobre experiencias en sistemas de producción con cultivos en callejones. Aunque según el CENTA (1998), se han desarrollado experiencias con los proyectos MADELEÑA/CATIE/DGRN y el Proyecto Agroforestal a Comunidades Rurales de Escasos Recursos; en los cuales la especie forestal utilizada fue madrecaao (Gliricidia sepium), leucaena (Leucocephala) y gandul (Cajanus cajan); utilizando zacate vetiver para la conservación del suelo, considerando que este sistema agroforestal, puede ser una alternativa que mejore la fertilidad del suelo y conserve en forma sostenida los recursos naturales. (CENTA, 1998).*

*A continuación se presentan los resultados de rendimiento de grano de maíz y frijol, para el cuarto año de evaluación del sistema cultivo en callejones.*

*El análisis correspondiente para cada una de las variables se ha hecho en base a resultados promedios, ya que el número de parcelas no permitió la aplicación de un diseño experimental.*

##### **4.1. Pérdida y/o acumulación de suelo.**

###### **4.1.1. Pérdida de suelo.**

*Los resultados del cuadro 9 reflejan la efectividad de los tratamientos conservacionistas en la disminución de la pérdida de suelo, como producto de las barreras vivas de vetiver que acompañan a los*

*callejones de leguminosas (madrecacao y gandul), los cuales reducen la velocidad de la escorrentía y por lo tanto, el arrastre de suelo es menor. Además la cobertura proporcionada al suelo por la biomasa proveniente de la poda de las leguminosas, funciona como un manto protector contra el impacto de las gotas de lluvia, reduciendo así el transporte de suelo como de nutrientes por la escorrentía.*

*Esto lo podemos reforzar con la información proveniente de la ASDI (1997), donde afirma que con el uso de abonos verdes, se protege el suelo, del impacto de las gotas de lluvia y además se disminuye la pérdida de nutrientes.*

*En cuanto a los tratamientos manejados en forma tradicional, donde no existe ninguna obra conservacionista, la pérdida de suelo es mayor y por consiguiente la fertilidad natural, también ve reducida, lo cual se refleja en el rendimiento de los cultivos.*

*Según Fournier (1995), las pérdidas de suelo que resultan de la erosión hídrica, van acompañadas de fenómenos peligrosos como el empobrecimiento del suelo cultivado, cuando no se hace ningún esfuerzo especial por compensar las pérdidas de elementos fertilizantes.*

*También según Leonard (1986), los suelos expuestos, a menudo, pierden su fertilidad natural rápidamente, como resultado de la compactación y las malas prácticas agrícolas.*

*Cuadro 9. Pérdida de suelo en tn/ha bajo el sistema cultivo en callejones y precipitación en mm. en Ciudad Arce y Rosario de Mora. 1998.*

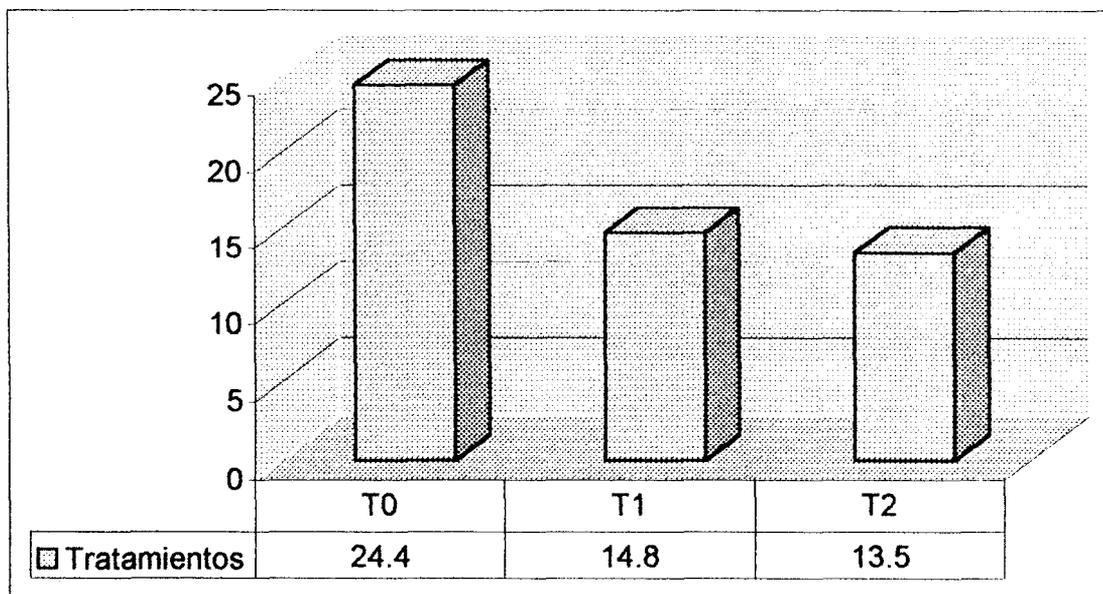
LOCALIDAD	TRATAMIENTOS			PRECIPITACIÓN (mm)
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub>	
Ciudad Arce	12.93	14.12	26.22	2837.5
Rosario de Mora	16.67	12.88	22.67	1758.3
Promedio	14.80	13.50	24.40	2297.9

*En Ciudad Arce, los mejores resultados en cuanto a la disminución de pérdida de suelo se tuvieron en el tratamiento madrecaao + vetiver (T<sub>1</sub>), obteniéndose una pérdida de 1.9 Tn/ha menos que el tratamiento gandul + vetiver (T<sub>2</sub>), (cuadro 9).*

*Los valores más altos obtenidos en Ciudad Arce (en el T<sub>2</sub>) comparados con los obtenidos en Rosario de Mora, en el mismo tratamiento se deben, a una serie de factores como son: mayor precipitación, pendiente más pronunciada (Ciudad Arce 40% y Rosario de Mora 35%), textura del suelo un poco más suelta, que lo hace bastante susceptible a la erosión y al laboreo o pisoteo. Además el poco desarrollo de la barrera de vetiver ubicada en la cabecera de la parcela, acompañada con la ruptura del drenaje (parte superior de la parcela del tratamiento gandul + vetiver), favorecieron un mayor desprendimiento y movimiento de suelo dentro de la parcela. Parte de este suelo fue retenido y acumulado en las barreras de vetiver, lo cual se puede apreciar en el cuadro 10.*

*A pesar de estos problemas suscitados en el T<sub>2</sub>, la diferencia en la cantidad de suelo perdida con respecto a la de Rosario de Mora, no fué muy significativa (1.34 tn/Ha). Esto se debe al efecto de las barreras vivas, cuya función principal es la de reducir la velocidad de agua que corre sobre la superficie del terreno y retener el suelo. (Suárez, 1979)*

*En el caso de Rosario de Mora, el tratamiento con gandul (T<sub>2</sub>) respondió mejor, obteniéndose una pérdida de 3.79 tn/ha menos que el tratamiento con madrecacao (T<sub>1</sub>).*



**Fig. 1.** *Comportamiento de pérdida de suelo promedio en Tn/ha, en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1,998.*

*Al comparar los valores promedios de pérdida de suelo se puede observar (Figura.1) que en las parcelas con tratamientos conservacionistas, la pérdida de suelo puede reducir de un 55% a un 60.6% con relación al testigo. Entre los tratamientos conservacionistas la diferencia es mínima, por lo que se puede decir que ambas especies acompañadas con barreras de vetiver, responden satisfactoriamente en la conservación de suelos. En el país no se encontró información sobre pérdida de suelo; pero al comparar los datos obtenidos en investigaciones realizadas en otros países podemos decir que, bajo el sistema de cultivo en callejones las pérdidas de suelo, se pueden reducir a un nivel tolerable, de tal manera que se mantenga un equilibrio entre la cantidad de suelo perdido y la capacidad de regeneración de éste, por medio de la incorporación de material vegetativo.*

*Así por ejemplo, según Kirkby (1993), en la práctica de conservación de suelos, las pérdidas aceptables pueden ser de 2 a 10 ton/Ha/año; Netscape (1998), los niveles de pérdida de suelo, utilizando barreras de vetiver se puede reducir por debajo de 10 ton/Ha/año; para Bennet (1984) las pérdidas normales de suelo son de 11 a 12.5 tn/ha/año; para Wishmeir (1962), las pérdidas permisibles pueden ser de 6 a 11 Tn/ha/año; mientras que para Hudson (1971), las pérdidas pueden ser hasta de 13 a 15 Tn/ha/año.*

*Según el CENTA (1996), la falta de un manejo sostenible de los recursos naturales produce pérdidas de suelo desde 170 a 200 Tn/ha/año, la cual afecta la producción de granos básicos en zonas de ladera. En la implementación del sistema agroforestal cultivo en callejones en zonas de ladera, las cantidades de pérdida de suelo, se pueden reducir hasta un 55-55.6%.*

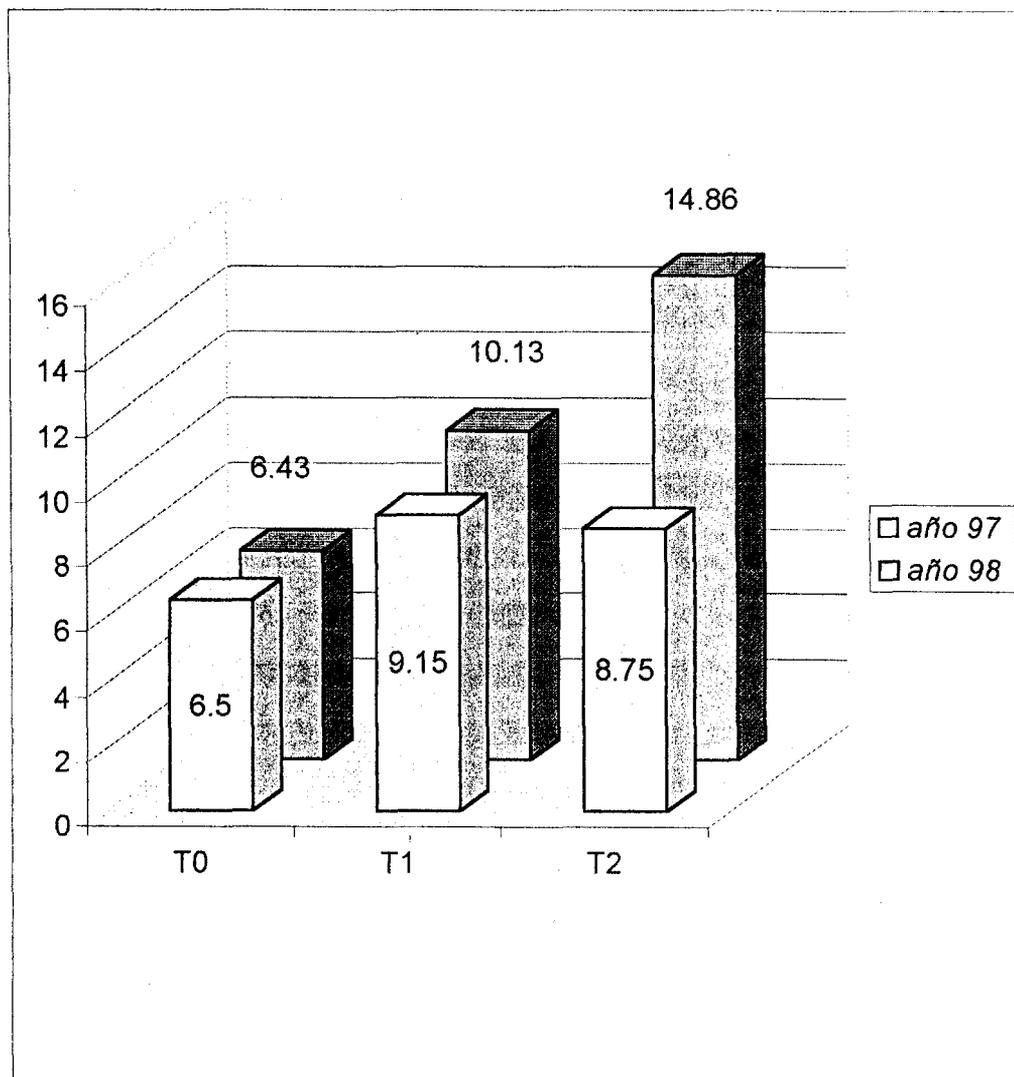
#### 4.1.2. Acumulación de suelo en las barreras de vetiver.

Con el uso de barreras vivas de vetiver acompañando a los surcos de leguminosas, se reduce la cantidad así como la velocidad del agua que escurre en la parcela. Algunas investigaciones indican que con el uso de vetiver como barrera viva, se puede reducir el escurrimiento hasta un 60-70%, dicho valor depende de la inclinación, intensidad de lluvia e infiltración (Netscape, 1998). Lo anterior permite que la cantidad de suelo removido sea menor, el cual será captado y acumulado en la barrera.

La retención de suelo a través de las barreras de vetiver en la investigación de la tecnología de cultivo en callejones, se comenzó a medir a partir del tercer año (1997) con el propósito de determinar la lámina de suelo que se acumuló y la lámina de suelo que se perdió de entre la barrera.

Cuadro 10. Retención promedio de suelo en mm en las barreras de leguminosas + vetiver, en el sistema cultivo en callejones, en Ciudad Arce y Rosario de Mora. 1998.

Sitio	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>0</sub>	
	Acum.	Erosión	Acum.	Erosión	Acum.	Erosión
Ciudad Arce	9.93	2.69	21.46	2.9	8.23	16.65
Rosario de Mora	10.33	4.56	8.26	2.99	4.63	5.42
Promedio	10.13	3.62	14.86	2.94	6.43	11.03



*Fig.2. Acumulación promedio de suelo en mm, en las barreras de vetiver, durante dos años de evaluación en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.*

*En el Cuadro 10 se puede apreciar la efectividad de las barreras de vetiver en cuanto a la captación de las partículas de suelo, las cuales*

*arrastradas por acción de la escorrentía son depositadas al pie de ésta, condiciones que no se presentan en el tratamiento testigo por no existir en este ninguna obra conservacionista, lo cual se refleja en los valores promedios de acumulación de suelo, que son superiores en los tratamientos conservacionistas; no así los valores promedios de erosión que son superiores en el tratamiento testigo.*

*Los resultados por localidad, demuestran que en Ciudad Arce la retención de suelo por la barrera de vetiver fue mayor en el tratamiento con gandul (cuadro 10), lo que se debió a la poca cobertura vegetal en dicho tratamiento, es decir que el poco desarrollo de los cultivos, favoreció el arrastre de suelo por la escorrentía, el cual fue acumulado en la barrera. En el caso del tratamiento con madrecaao, las barreras fueron menos efectivas, debido a que resultaron dañadas por un rompimiento ocurrido en la cabecera de la parcela quedando menos compactas (cerradas).*

*Mientras tanto en Rosario de Mora, las barreras fueron más homogéneas durante todo el período de lluvia, lo cual se refleja en los valores de retención de suelo, donde la variación entre los tratamientos conservacionistas es mínima.*

*En la Figura 2, se puede apreciar el comportamiento de los valores promedios de acumulación de suelo en las barreras de vetiver durante dos años de evaluación, donde se observa que en 1997 el tratamiento con madrecaao respondió mejor a la retención de suelo, pero en 1998, el comportamiento de éste fue casi similar; no así para el tratamiento con gandul, que incrementó la lámina de suelo acumulada y*

la cantidad de suelo que se escapa a través de la barrera se redujo, en cambio en el testigo ( $T_0$ ), la lámina de suelo erosionada, se incrementó.

#### 4.2. Rendimiento de granos.

La producción de grano es el principal indicador que nos refleja la efectividad de los tratamientos conservacionistas en cuanto a mejorar la fertilidad del suelo, fenómeno que puede explicarse debido a que los tratamientos con leguminosas y protección de vetiver modifican algunas características del suelo como son: estructura, aireación, humedad, contenido de materia orgánica y fertilidad; mediante la incorporación en el suelo de la biomasa obtenida de la poda de las leguminosas. Además, el arrastre de suelo por la escorrentía reducido por efecto de las barreras de vetiver minimiza la pérdida de nutrientes del suelo, favoreciendo un mejor desarrollo de los cultivos. Condiciones que no se presentan en el tratamiento testigo, por ser éste manejado en forma tradicional, sin ninguna obra conservacionista, lo cual se refleja en los rendimientos obtenidos.

##### 4.2.1. Rendimiento de grano de maíz.

Cuadro 11. Rendimiento de grano de maíz H-59 en Kg/ha obtenidos en el sistema cultivo en callejones, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.

SITIO	TRATAMIENTOS		
	$T_1$	$T_2$	$T_0$
Ciudad Arce	4064	3172	2498
Rosario de Mora	3653	4254	2825
Promedio	3858.5	3713	2661.5

*La obra conservacionista compuesta por las leguminosas + vetiver ocupa el 16.2% del área total (García, 1998), por lo que es necesario ajustar los rendimientos, restándoles el valor de dicho porcentaje, que equivale al área de proyección, la cual se disminuye por el espacio que ocupan los surcos con leguminosas y vetiver.*

*Cuadro 12. Rendimiento ajustado de maíz en Kg/ha, en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*

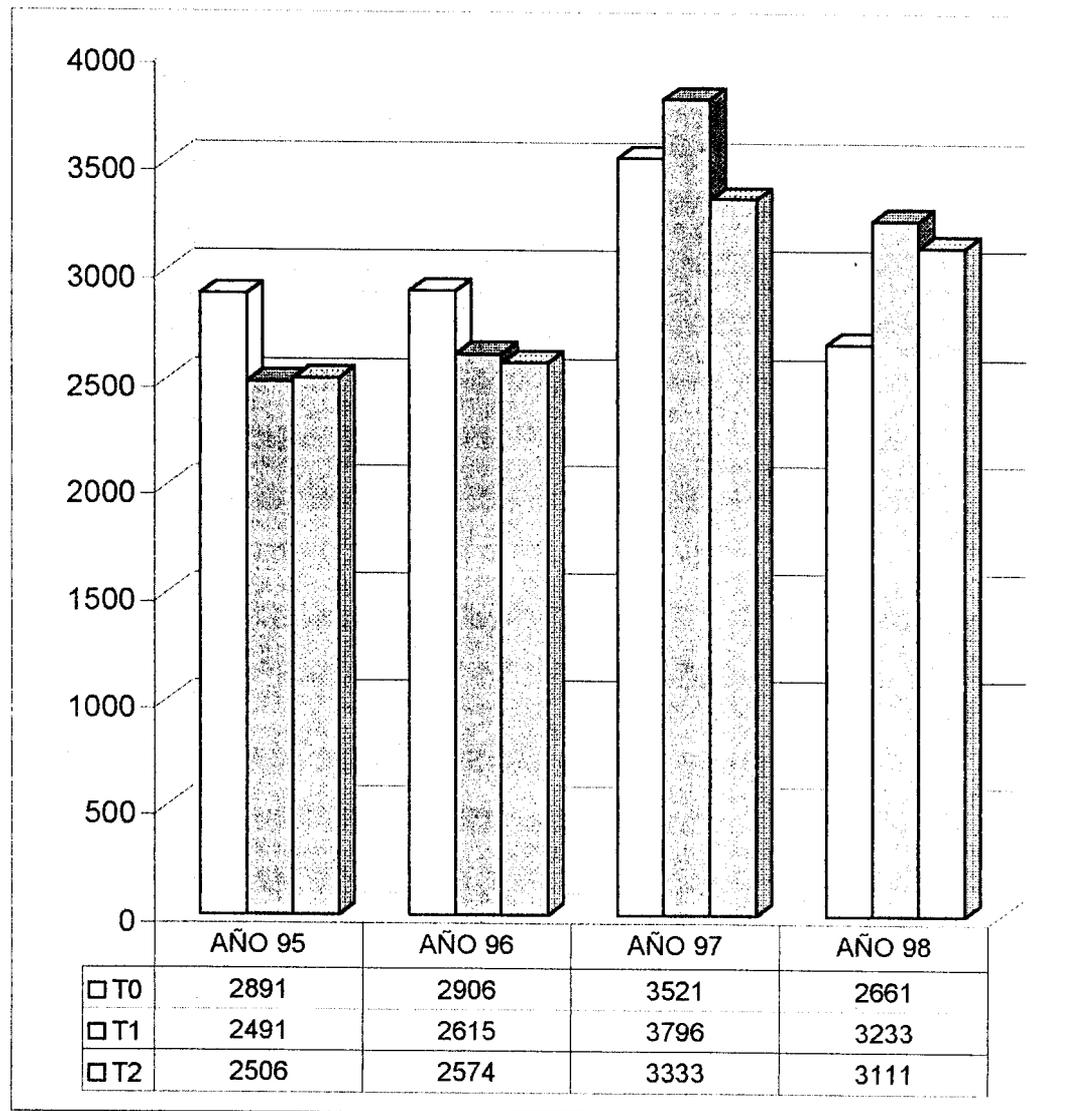
SITIO	TRATAMIENTOS		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub>
<i>Ciudad Arce</i>	3405.6	2656.1	2498
<i>Rosario de Mora</i>	3061.2	3564.8	2825
<i>Promedio</i>	3233.4	3111.45	2661.5

*Al comparar los rendimientos por localidad, los resultados en Ciudad Arce demuestran la superioridad del T1, el cual superó al T2 en 747.5 kg/ha y en 907.6 kg/ha al tratamiento testigo. La superioridad del tratamiento T2 con relación al T<sub>0</sub> no fue muy marcada, la diferencia fue de 160 Kg/ha. El bajo rendimiento obtenido en el T2, se debió al mal desarrollo de los cultivos por efecto de la escorrentía producida por el rompimiento del canal de desagüe en la parte superior de la parcela.*

*En Rosario de Mora, la diferencia de rendimientos entre los tratamientos conservacionistas fue menor que en el primero, siendo esta diferencia de 503.6 Kg/ha a favor del tratamiento gandul + vetiver y de 739.8 Kg/ha con relación al testigo. La diferencia entre el tratamiento madrecaao + vetiver y el testigo fue de 236.2 Kg/ha.*

*En general los rendimientos promedios por tratamientos (fig. 3) demuestran la superioridad del tratamiento  $T_1$ , siendo ésta en 1998 de 122 kg/ha, equivalente a un 4% con relación al  $T_2$  y de 571.9 kg/ha (21.5%) con relación al  $T_0$ . En cuanto al  $T_2$ , superó al  $T_0$  en 450 kg/ha equivalente al 17% (cuadro 12).*

*En la figura 3 podemos observar cómo los rendimientos de los cultivos en los tratamientos conservacionistas tienen un comportamiento ascendente que cada vez se acerca más al tratamiento testigo (que por no existir en éste ninguna obra conservacionista, el área de cultivos es mayor en un 16.2%), dicho comportamiento se debe a los cambios en la fertilidad por la incorporación de la biomasa, hasta el punto de superarlo. Lo cual coincide con estudios a largo plazo realizados en Nigeria, donde se utilizaron las especies de árboles leguminosas, Cajanus spp., Gliricidia spp. Y Leucaena spp., en asociaciones con maíz, donde se observó que a los seis años el rendimiento de maíz se mantuvo con el consiguiente ahorro de fertilizantes (Kang y Wilson, 1987).*



*Fig. 3. Comportamiento del rendimiento de maíz en kgs/ha, durante cuatro años de evaluación del sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.*

Los resultados indican que el tratamiento  $T_1$ , parece ser el más prometedor, es decir que ofrece mayores beneficios al agricultor, ya que responde mejor a las aplicaciones y manejo del sistema.

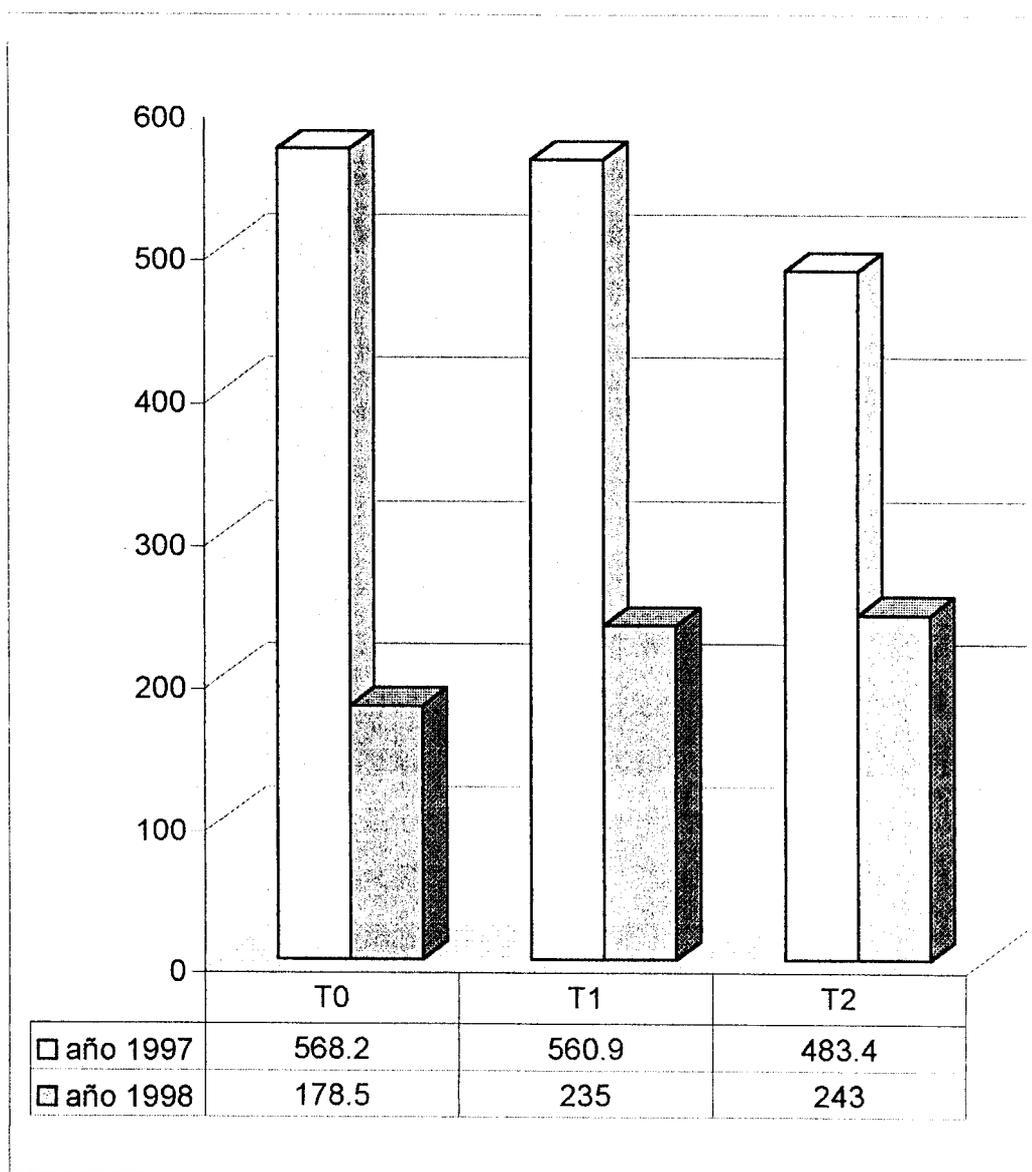
En 1,998 la tendencia en el incremento de los rendimientos fue de forma descendente, lo cual puede explicarse o deberse al fenómeno climatológico "Mitch"

#### 4.2.2. Rendimiento de grano de frijol

La producción de frijol en el período 98/99, también se vio afectada por el fenómeno climatológico del Mitch, por lo que el rendimiento promedio en comparación a la cosecha 97/98, se vio reducido considerablemente en un 58% para el  $T_1$ , en un 49.8% para el  $T_2$  y en un 69.6% para el  $T_0$ , este comportamiento de forma descendente lo podemos observar en la Figura 4.

Cuadro 13. Rendimiento de grano de frijol, en kg/ha bajo el sistema cultivo en callejones, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.

LOCALIDAD	$T_1$	$T_2$	$T_0$
	1998	1998	1998
Ciudad Arce	258.0	239.0	180.0
Rosario de Mora	212.0	247.0	177.0
Promedio	235.0	243.0	178.5



*Fig. 4. Comportamiento del rendimiento promedio de frijol en kgs./ha, durante dos años, bajo el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.*

*Investigaciones realizadas por el CATIE (Costa Rica), para el cultivo de maíz y frijol en callejones con poda de árboles (Poro y Madrecacao), y aplicación de "mulch" dentro de los callejones, se observó un aumento en el rendimiento de estos cultivos, siendo mayores que el testigo (sin árboles intercalados) (Kass, 1989).*

*Este incremento en el rendimiento de los cultivos, bajo el sistema de cultivo en callejones, se traduce en mayores ingresos económicos.*

#### **4.3. Producción de biomasa.**

*El material verde proveniente de la poda, tanto de las leguminosas como del vetiver, se distribuyó entre los surcos de los cultivos (maíz-frijol) a fin de aumentar la fertilidad y mejorar las características físicas del suelo. Esta variable se comenzó a medir a partir del 2° año (1996).*

*Los resultados de producción de biomasa de las especies que forman los callejones en 1998, se presentan en el cuadro 14.*

*Cuadro 14. Producción de biomasa en Kg/ha de las leguminosas y vetiver, para el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*

<i>SITIO</i>	<i>Madrecacao</i>	<i>Gandul</i>	<i>Vetiver</i>
<i>Ciudad Arce</i>	3832.7	4272.70 *	4233.0
<i>Rosario de Mora</i>	3552.0	-----	4763.48
<i>Promedio</i>	3692.35	4272.70	4498.24

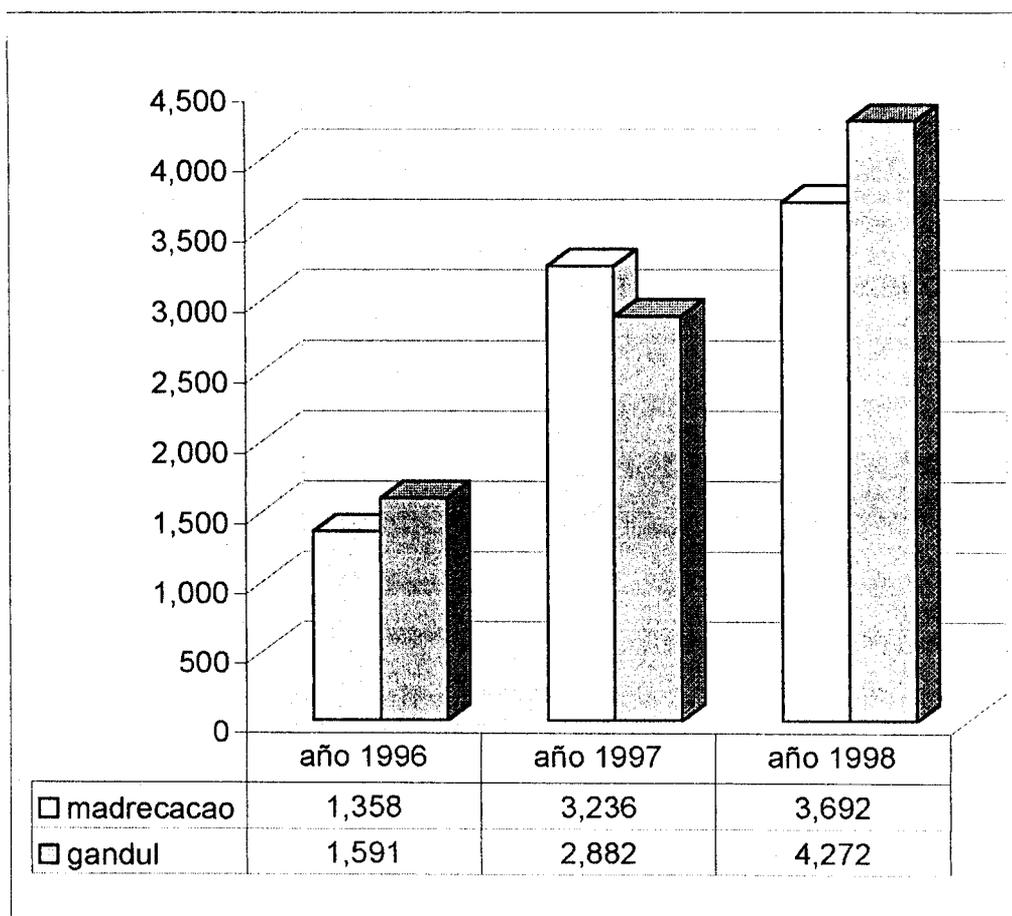
*\* Resultados provienen de un solo muestreo.*

#### **4.3.1. Rendimiento de madrecaao y gandul.**

*Como se aprecia en el cuadro 14, la producción de biomasa de madrecaao en Ciudad Arce fue superior a la de Rosario de Mora en 664 kg/ha, lo cual se refleja en el incremento del contenido de materia orgánica (cuadro 16), en cuanto al gandul, este superó al madrecaao en 440 kg/ha.*

*En Rosario de Mora el gandul se había perdido completamente en este año, por lo que no fue posible medir esta variable. Lo anterior puede deberse a que según López (1992) esta planta es de vida corta (3 a 4 años) y para este año el sistema tenía 4 años de establecido, es decir el gandul había cumplido su ciclo vegetativo.*

*En la figura 5 se muestra el comportamiento de la producción promedio de biomasa de leguminosas durante 3 años de evaluación, donde en 1997 la producción de madrecaao fue superior a la del gandul en un 12.28%; no así para los años 1996 y 1998, donde el gandul superó al madrecaao en un 17% y 15.7% respectivamente.*



**Fig. 5.** Comportamiento del rendimiento promedio de biomasa de leguminosas en kg/ha, durante tres años de evaluación en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.

*Esta superioridad en la producción de biomasa del gandul sobre el madrecaao, coincide con resultados obtenidos por el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), donde la producción de biomasa en tn/ha fue la siguiente: Gliricidia sepium, 2.3 y Cajanus cajan, 4.1, además se concluyó que el sistema agroforestal en callejones mejora en forma sostenida las cosechas de maíz. (CENTA, 1998).*

*Además el incremento en el rendimiento de materia verde de 1996 a 1998 es muy notable (2334 kg/ha para el madrecaao y 2681 kg/ha para el gandul), lo cual se debe a que estas plantas responden muy bien a las podas, con lo que se estimula la producción de rebrotes y por lo tanto en cada poda, la producción de materia verde es mayor.*

*Para el cuarto año de evaluación, las leguminosas y el vetiver son capaces de aportar un promedio de 3,982.5 y 4,498 kg/ha de materia verde respectivamente.*

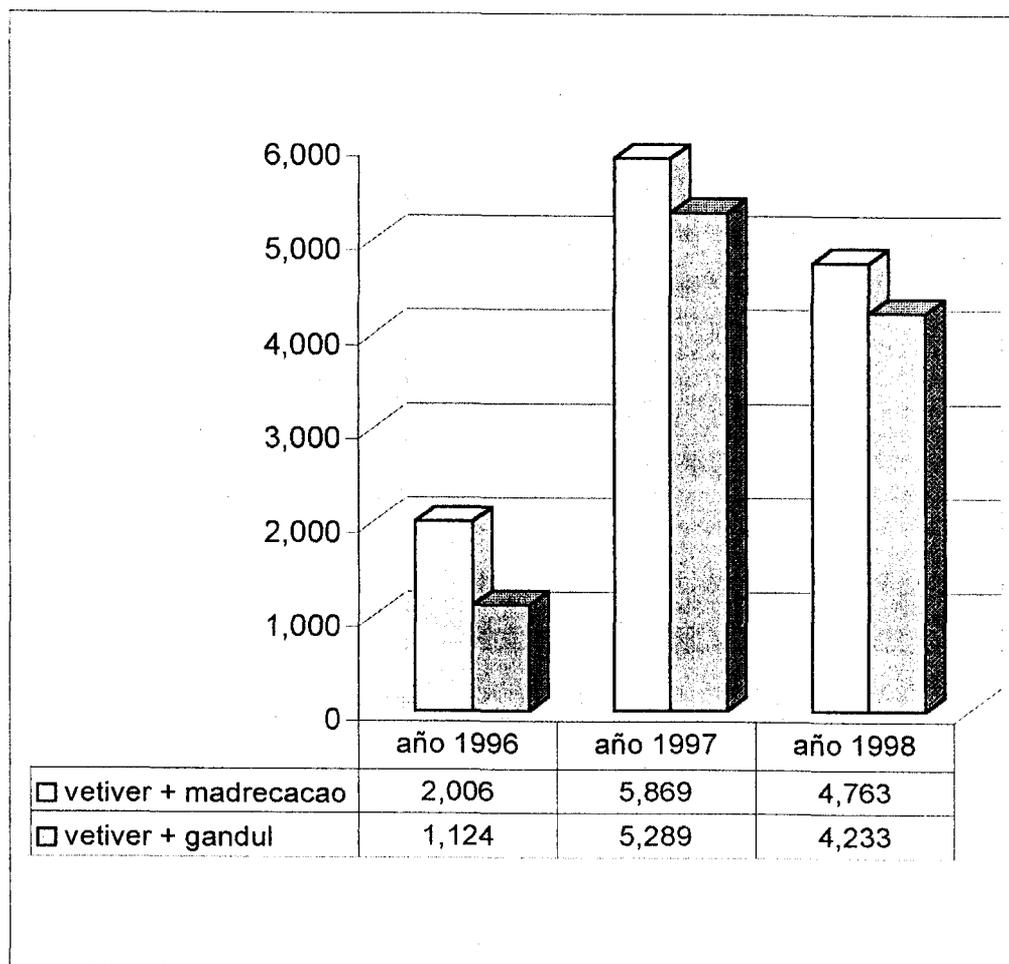
*La incorporación de materia verde al suelo, se traduce en un aumento en el contenido de materia orgánica y por lo tanto, se incrementa la fertilidad natural del suelo.*

*Además, según Bennet (1965), se mejoran otras propiedades como son: estructura, aireación, capacidad de retención de humedad, etc.*

#### **4.3.2. Rendimiento de vetiver.**

*Al igual que las leguminosas, la producción de biomasa de vetiver se comenzó a medir a partir de 1996. Desde la fecha hasta el año 1998 se ha observado un incremento en el rendimiento promedio de materia verde.*

*Al comparar los rendimientos de materia verde de vetiver, puede observarse en la figura 6, que los mejores resultados se han obtenido en*



**Fig 6.** *Comportamiento del rendimiento promedio de materia verde de vetiver kg/ha durante tres años de evaluación, en el sistema cultivo en callejones en Ciudad Arce y Rosario de Mora.*



el T1, donde éste ha superado los rendimientos de vetiver del T2 durante los 3 años de evaluación, en el año 1996 en un 78% y un 11 y 12% para el año 1997 y 1998 respectivamente.

Esta diferencia en la cantidad de materia verde producida puede deberse a que el madrecazo permite mayor infiltración de luz que ayuda a un mayor desarrollo de la barrera viva de vetiver (García, 1,998). El comportamiento del rendimiento de vetiver durante los 3 años de evaluación se puede apreciar en la figura 6.

En general el sistema de cultivo en callejones es una técnica que permite una regeneración más rápida del suelo por medio del aporte de material verde (biomasa) proveniente de las podas, lo cual puede reflejarse en el rendimiento de los cultivos y en el largo plazo, según Kang y Wilson (1987) un ahorro de fertilizante.

Se ha demostrado que la biomasa incorporada al suelo, permite hacer un uso agrícola de éste durante muchos años, sin que sea necesario un barbecho generativo intermedio (Kang y Wilson, 1987).

#### **4.4. Humedad.**

Los resultados correspondientes al año 1998, provienen de dos muestreos: a la salida del invierno y dos meses después del primero.

Cuadro 15. Porcentaje de humedad a dos profundidades y dos épocas de muestreo, en el sistema cultivo en callejones, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.

Sitio	Muestreo	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>0</sub>	
		Cm 10-20	Cm 10-20	Cm 0-10	Cm 10-20	Cm 0-10	Cm 10-20
Ciudad Arce	1°	24.23	26.49	21.88	22.86	20.98	26.49
	2°	15.24	6.52	5.94	11.90	7.44	6.52
Rosario de Mora	1°	25.80	23.25	19.84	24.42	20.04	23.25
	2°	11.16	8.66	3.68	7.89	3.00	8.66
Promedio		19.1	19.1	12.8	16.8	12.8	16.23

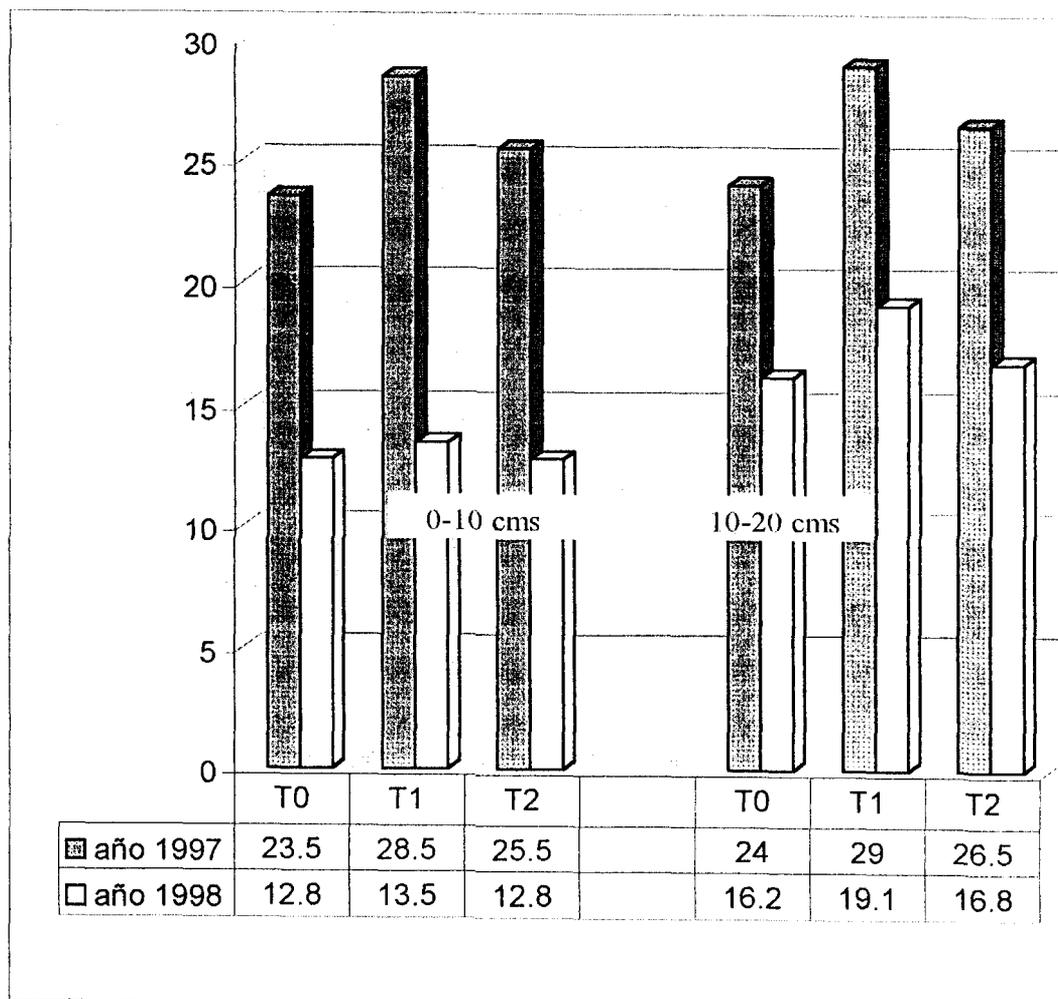
1° M: Diciembre/98 2° M: Febrero/99.

*Como resultado de la incorporación de la biomasa procedente de las podas de las leguminosas que forman las barreras, la cual funciona como cubierta vegetal, el porcentaje de humedad en el contenido del suelo al final de la época lluviosa se vio favorecido en los tratamientos conservacionistas.*

*En el cuadro 15 puede preciar que para el T1 conserva un mayor porcentaje de humedad que el testigo en 6.3 y 2.3% de 0 a 10 y de 10 a 20% cm de profundidad respectivamente, seguido del T2. este mayor contenido de humedad en los tratamientos conservacionistas también se debe a los efectos de retención del zacate vetiver y la función protectora de la cubierta vegetal.*

*Mejorando la condición del suelo, la materia orgánica aumenta su aireación y por consiguiente mejora el grado de infiltración y la capacidad de retención de humedad (Suarez, 1979)amientos con leguminosas y protección de vetiver.*

*Los resultados obtenidos demuestran que el sistema de cultivo en callejones también favorece la retención de humedad en la estructura del suelo.*



**Fig. 7.** *Comportamiento del porcentaje de humedades promedio, a dos profundidades de muestreo, durante dos años de evaluación, en el sistema cultivo en callejones, Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1997/1998.*

#### 4.5. Fertilidad del suelo.

*El objetivo de realizar análisis químicos del suelo fue para determinar en forma aproximada, la pérdida de los nutrientes del suelo a causa de la erosión hídrica, así también determinar el aporte nutricional de la biomasa proveniente de la poda de las leguminosas.*

*Para el cuarto año de evaluación del sistema, los resultados del análisis de fertilidad se presentan en los cuadros 16 y 17.*

##### 4.5.1. Resultados de PH y materia orgánica.

*Cuadro 16. Comportamiento del porcentaje de materia orgánica y PH del suelo, en el sistema cultivo en callejones, Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*

LOCALIDAD	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>0</sub>	
	M.O.	PH	M.O.	PH	M.O.	PH
<i>Ciudad Arce</i>						
<i>Junio/98</i>	3.85	5.4	4.17	5.3	4.64	5.4
<i>Enero/99</i>	4.64	5.2	4.90	5.2	4.51	5.4
<i>Rosario de Mora</i>						
<i>Junio/98</i>	4.8	5.5	4.95	5.6	3.84	5.6
<i>Enero/99</i>	4.77	5.4	4.04	5.4	2.57	5.6

*Los análisis de suelos realizados antes de la siembra de los cultivos y después de la cosecha de los mismos, muestran que en Ciudad Arce se obtuvo un incremento de 0.79% y 0.73% de materia orgánica*

*para el  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente, no así en el  $T_0$ , donde el contenido de materia orgánica se vio reducido en un 0.13%.*

*En el caso de Rosario de Mora se observó una disminución en un 0.03% y 0.91% de materia orgánica, para el  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente, lo y en 1.27% para el  $T_0$ .*

*Cual puede explicarse a que, cuando se realizó la poda de madrecaao y vetiver, el cultivo de frijol estaba completamente cerrado, por lo que no fue posible distribuir la biomasa en los callejones. En el  $T_2$  no hubo incorporación de biomasa, el gandul se había perdido completamente.*

*Es evidente que la incorporación de la biomasa de las leguminosas y el vetiver al suelo, aumenta el porcentaje de materia orgánica, lo cual es el resultado de la descomposición de la biomasa en los tratamientos conservacionistas. En el caso del tratamiento testigo, la única fuente de materia orgánica es la descomposición de los rastrojos de la cosecha anterior y que por no existir en este obras conservacionistas, se pierde junto con el suelo removido por efecto de las lluvias.*

*En cuanto al pH del suelo, los resultados muestran que después de la cosecha de los cultivos, hay una disminución de esta variable en los tratamientos conservacionistas, lo cual puede deberse a que existe una mayor retención del fertilizante aplicado por efecto de las barreras y la cobertura proporcionada por la biomasa, lo cual genera una acidificación del suelo. No así en el tratamiento testigo; que por no*

existir ninguna obra de conservación, parte del fertilizante aplicado al cultivo, es arrastrado por la escorrentía del agua lluvia (Tisdale 43).

Al analizar la relación entre ambas variables, se observa que no hay una manifestación clara de la influencia del porcentaje de materia orgánica sobre el PH del suelo; sin embargo se espera que los suelos bajo el sistema de cultivos en callejones, con la disminución en el uso de fertilizante, con el tiempo modifiquen el pH a neutro o ligeramente alcalino.

#### 4.5.2. Contenido de nutrientes.

El contenido de nutrientes del suelo en Ciudad Arce y Rosario de Mora, para el cuarto año de evaluación (1,998) se presenta en el cuadro 17; así también el comportamiento de éstos (P, K, Ca y Mg), durante dos años de estudio, se puede apreciar en las figuras 8, 9, 10, 11.

Cuadro 17. Contenido de nutrientes del suelo, en el sistema cultivo en callejones, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.

ELEMENTO	FECHA	CIUDAD ARCE			ROSARIO DE MORA		
	MUESTREO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub>
P (ppm)	1 m	54.78	44.02	34.66	5.77	3.98	4.98
	2 m	38.70	26.84	43.49	5.17	3.45	5.75
K (ppm)	1 m	563	452	554	519	428	448
	2 m	358	302	386	382	310	335
Ca (ppm)	1 m	7.8	7.2	8.6	11.2	11.2	11.2
	2 m	6.9	6.5	7.5	10.7	9.9	11.7
Mg (ppm)	1 m	1.88	1.68	2.03	2.88	2.49	2.61
	2 m	1.46	1.41	1.67	2.68	2.30	2.68

1 m = Junio/98, 2 m = Enero/99.

La biomasa de las leguminosas es capaz de aportar al suelo considerables cantidades de nutrientes, tal como se puede ver en el siguiente cuadro:

Cuadro 18. Aporte de Nutrientes de las Leguminosas.

NUTRIENTES						
	N	P	K	Ca	Mg	C
Gandul (M.S. %)	2.61	0.14	2.61	1.79	0.45	56.
Madrecacao kg/Ha (3703.85 kg/Ha)	77.98	4.21	38.45	15.26	5.61	

Fuente: Binder, U. (1997). *Manual de leguminosas de Nicaragua*. PASOLAC. E.A.G.E.; Estelí, Nicaragua. (Tomo I). Pág. 116.

La biomasa de las leguminosas es capaz de aportar al suelo nutrientes como: N, P, Ca y Mg. (Binder, 1997). En Nigeria, habían observado que cuando se plantaban estacas de *Gliricidia sepium* como soporte del ñame, la *Gliricidia* tendía a lograr en el sitio una recuperación más rápida de la fertilidad del suelo que cuando estaban presentes otras especies (Kang y Wilson, 1987).

### ***Fósforo (P).***

*La cantidad de fósforo después de la cosecha de los cultivos en el tratamiento testigo fue mayor que en los tratamientos con leguminosas ( $T_1$  y  $T_2$ ), lo cual puede estar relacionado al PH del suelo, ya que la disponibilidad del ión fosfato ( $H_2PO_4$ ), se favorece en un medio más ácido, como se puede observar en el Cuadro No. 16, donde los valores de acidez son un poco mayores en los tratamientos  $T_1$  y  $T_2$  comparados con el tratamiento testigo.*

### ***Potasio (K).***

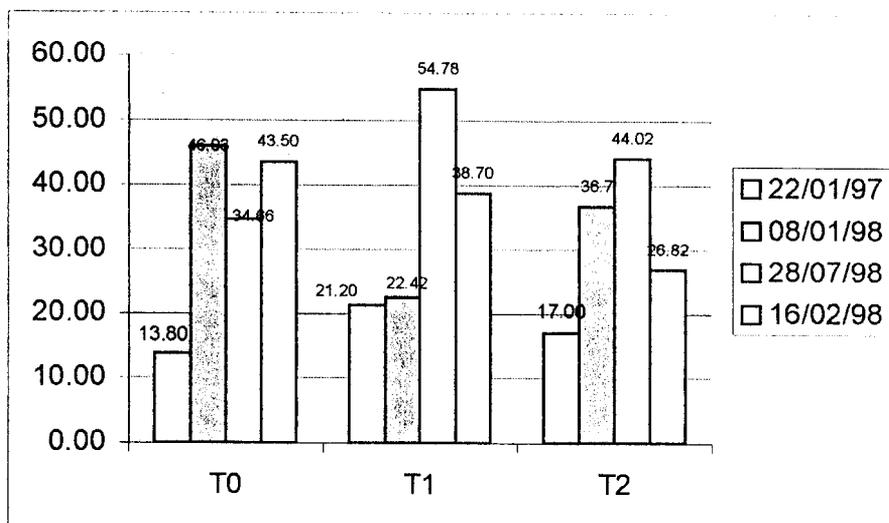
*El comportamiento de este elemento fue un poco diferente en este se experimentó una considerable disminución en todos los tratamientos (en ambas localidades), esto puede explicarse ya que las plantas tienden a apoderarse del potasio soluble, en cantidades mayores a sus necesidades, sin embargo el exceso de este elemento tomado por las plantas no aumenta su producción.*

### ***Calcio y Magnesio (Ca y Mg).***

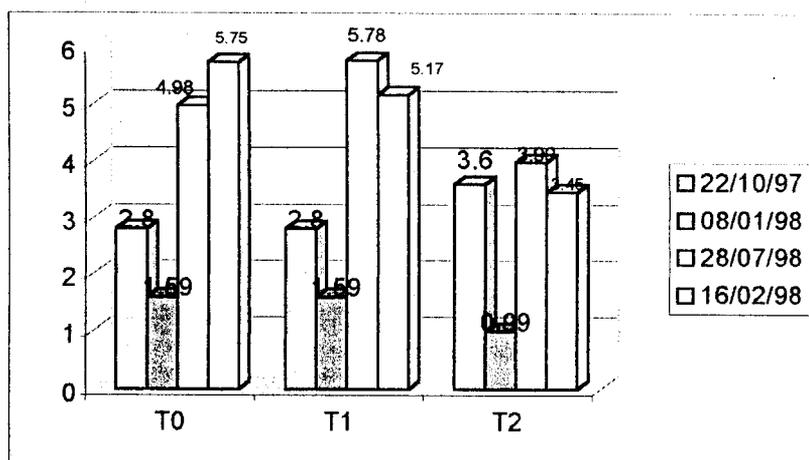
*La disponibilidad de estos elementos al final de la cosecha de los cultivos tendió a disminuir esto se debe a que según INPOFOS, cuando disminuye el PH del suelo, también disminuye la disponibilidad de Ca, Mg y Mo. (Binder, 1997).*

*Al contrario en Rosario de Mora en el To.. donde los valores de PH fueron un poco mayores estos elementos reflejaron un aumento.*

*Valores de fósforo (P) ppm*



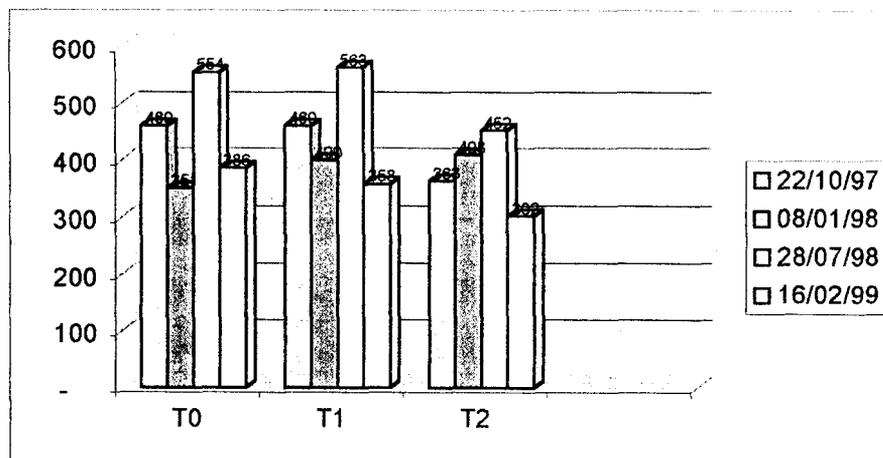
*Ciudad Arce*



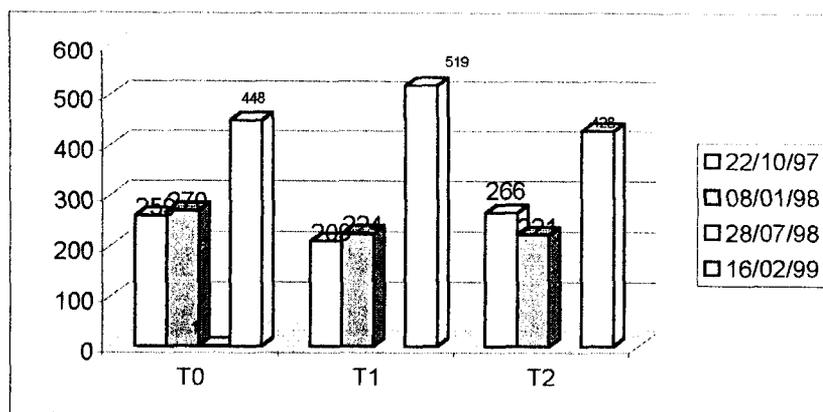
*Rosario de Mora*

**Fig. 8.** *Comportamiento del fósforo (P), durante dos años de evaluación y cuatro épocas de muestreo, bajo el sistema de cultivo en callejones, en Ciudad Arce y Rosario Mora, 1997/98 y 1998/99.*

*Valores de Potasio (K) ppm*



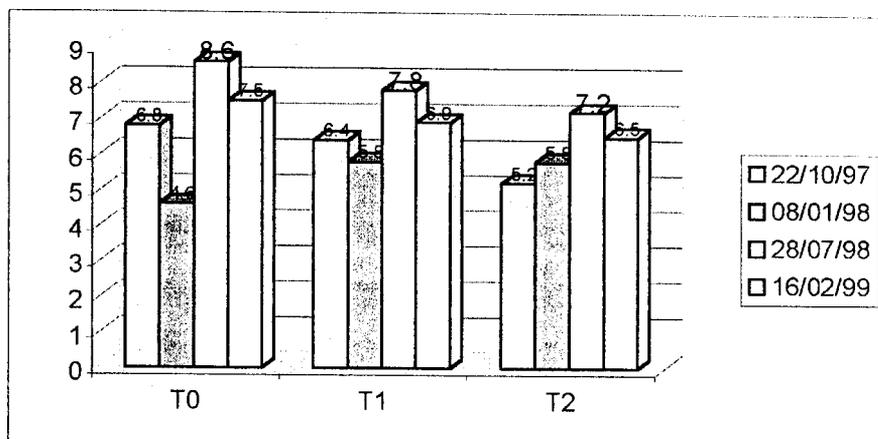
*Ciudad Arce*



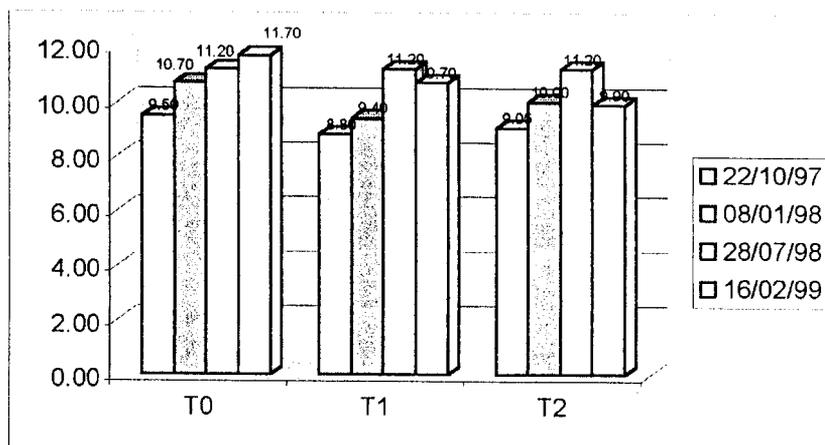
*Rosario de Mora*

**Fig. 9.** *Comportamiento del potasio (k), durante dos años de evaluación y cuatro épocas de muestreo, bajo el sistema cultiva en callejones, en Ciudad Arce y Rosario Mora, 1997/98 y 1998/99.*

*Valores de Calcio (Ca) ppm.*



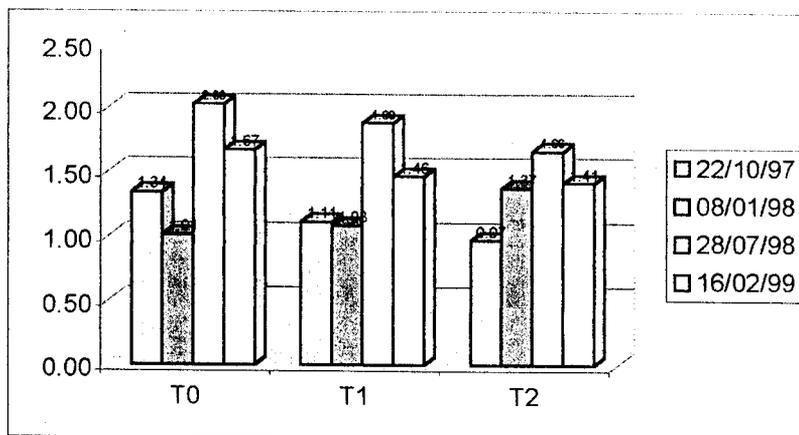
*Ciudad Arce*



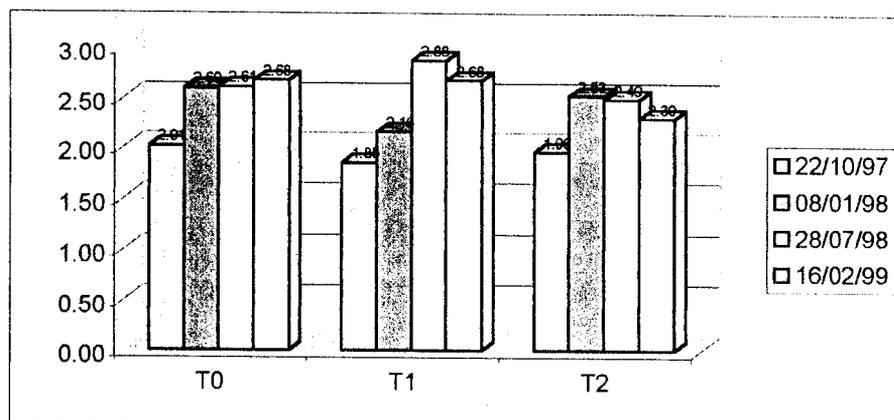
*Rosario de Mora.*

**Fig. 10.** *Comportamiento del calcio (Ca), durante dos años de evaluación y cuatro épocas de muestreo, bajo el sistema cultiva en callejones, en Ciudad Arce y Rosario Mora, 1997/98 y 1998/99.*

*Valores de Magnesio (Mg) ppm*



*Ciudad Arce*



*Rosario de Mora.*

**Fig.11.** *Comportamiento del Magnesio(Mg), durante dos años de evaluación y cuatro épocas de muestreo bajo el sistema de cultivo en callejones, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1997/98 y 1998/99*

#### 4.6. Evaluación económica.

##### 4.6.1. Presupuesto parcial.

Para hacer una comparación económica de los tratamientos, tomando en cuenta los costos del mantenimiento de la tecnología, se elaboró el presupuesto parcial para cada localidad; previamente determinándose los costos que varían en la investigación, los que se presentan en el cuadro 19, además se presentan los costos de producción en el cuadro A-7 y los costos de establecimiento de las barreras en el cuadro A-8.

Cuadro 19. Costos que varían (nº de jornales/ha) en los tratamientos conservacionistas en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998-1999.

tratamiento	Ciudad Arce		Rosario de Mora	
	Limpieza	Poda	Limpieza	Poda
T <sub>1</sub>	1	2	1	2
	1	2	1	2
T <sub>2</sub>	1	2	1	2
	1	2	1	2
T <sub>0</sub>	0	0	0	0
	0	0	0	0

Para poder realizar los cálculos se necesitaron los siguientes datos generales.

*Cuadro 20. Precio de campo de los derivados y mano de obra, del sistema cultivo en callejones de para Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998/99.*

VARIABLE	CIUDAD ARCE	ROSARIO DE MORA
<i>Precio de campo maíz</i>	¢ 72.75/qq	¢ 75.00/qq
<i>Precio de campo frijol</i>	¢ 300.00/qq	¢ 300.00/qq
<i>Precio de campo madre *</i>	¢ 84.00/qq (S.A.)	¢ 84.00/qq (S.A.)
<i>Precio de campo gandul *</i>	¢ 84.00/qq (S.A.)	¢ 84.00/qq (S.A.)
<i>Precio de campo vetiver</i>	¢ 227.00/qq	¢ 227.00/qq
<i>Costo de mano de obra</i>	¢ 35.00/Jornal	¢ 35.00/Jornal
<i>Costo de barrera/Ha</i>	¢ 1,152.00	¢ 1,022.50

\* Como fertilizante.

S.A.: Sulfato de amonio.

*El precio de campo de la biomasa independientemente de la procedencia es de ¢ 5.00/kgr según Ing. Miguel Menéndez en su artículo: Impacto de la diversificación en el recurso suelo.*

*Cuadro 21. Presupuesto parcial / 1,000 m<sup>2</sup> en parcelas de validación, para las localidades de Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*

Rendimiento (qq/ 1000 m <sup>2</sup> )	Ciudad Arce			Rosario de Mora		
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
Maíz	5,5	6,3	4,9	6,2	5,7	6,6
Frijol	0.50	0.50	0.44	0.4	0.4	0.5
Maíz (ajustado 5%)	5,24	5,9	4,7	5,9	5,4	6,3
Frijol (ajustado 5%)	0.38	0.48	0.42	0.38	0.38	0.48
Vetiver	--	9,31	9,31	--	10,48	10,48
Madrecacao (fertilizante)	--	0.17	--	--	0.16	--
Gandul (fertilización)	--	--	0.05	--	--	0.04
Beneficio bruto Campo maíz	381.21	429.23	341.9	442.5	405.0	472.5
Beneficio bruto Campo frijol	114.0	144.0	126.0	114.0	114.0	144.0
Beneficio bruto Campo madrecacao	--	14.28	--	--	13.44	--
Beneficio bruto Campo gandul	--	--	4,2	--	--	3,36
Beneficio bruto Campo vetiver.	--	2113.24	2113.24	--	2378.9	2378.9
Beneficio bruto de Campo	495.21	2700.9	2585.5	556.5	2911.34	2998.76
Costo Barrera	--	127.32	116.66	--	127.32	116.66
Costo mano de obra poda	--	70.00	70.00	--	35.00	35.00
Costo mano de obra limpieza	--	35.00	35.00	--	35.00	35.00
INSUMOS	184.3	154.81	154.81	184.3	154.81	154.81
Labores culturales	350.0	294.0	294.0	350.0	294.0	294.0
Total C.V. (¢)	534.3	681.13	670.47	534.3	681.13	670.47
INGRESO NETO (¢)	- 39.09	2019.77	1915.03	22.20	2230.21	2328.29

*Para cualquier consulta de la generación de los datos del presupuesto ver cuadros A- 8, al A- 12.*

*En el Cuadro 21 se observa que hay superioridad económica en Ciudad Arce, para los trat. Conservacionista en comparación con el tratamiento testigo (T<sub>0</sub>); el cual incluso, presenta pérdidas (- ¢ 39.09) en*

*sus ingresos netos. Pero dentro de los tratamientos conservacionistas el T1 (madrecacao + vetiver) es el que genera mayores ingresos netos (¢ 2019.77) relegando al segundo lugar al tratamiento T2 (gandul + vetiver) con beneficios netos de ¢ 1915.03.*

*Para la localidad de Rosario de Mora, el sistema cultivo en callejones reporta una situación similar a Ciudad Arce, observándose una superioridad económica de los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub> arriba de los ¢ 2,306.09 y ¢ 2,208.01 respectivamente sobre el testigo.*

*Basándose en el análisis económico se puede comprobar que el sistema cultivo en callejones da mejores beneficios con relación a la forma tradicional de producción del agricultor en ambas localidades. Se debe enfatizar que estos beneficios en este tipo de sistemas se logran en un mediano y largo plazo.*

#### **4.6.2. Análisis de dominancia.**

*Se efectúa primero ordenando los tratamientos de menores a mayores costos totales que varían.*

*Se dice entonces que un tratamiento es dominado por otro cuando tienen beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían mas bajos ( CIMMYT , 1988)*

*Cuadro 22. Análisis de dominancia para el sistema cultivo en callejones, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*

CIUDAD ARCE		
Tratamiento	Total costos que varían	Beneficios netos (¢)
T <sub>1</sub>	681.13	2019.77
T <sub>2</sub>	670.47	1915.03
T <sub>0</sub>	534.3.	- 39.09
ROSARIO DE MORA		
Tratamiento	Total costos que varían	Beneficios netos (¢)
T <sub>1</sub>	681.13	2230.21 D
T <sub>2</sub>	670.47	2328.29
T <sub>0</sub>	534.3	22.2

*Como puede observarse en el Cuadro 22, para la localidad de Ciudad Arce ningún tratamiento es dominado, ya que los ingresos netos crece proporcionalmente a medida se incrementa sus costos variables totales, es decir a mayor inversión mayor ganancia.*

*Para el caso de Rosario de Mora la situación es diferente, ya que en esta localidad el tratamiento T<sub>1</sub> es dominado por T<sub>2</sub>, aunque sus beneficios netos siempre son superiores en comparación al testigo (T<sub>0</sub>).*

*Como en las dos localidades las parcelas manejadas bajo la tecnología del agricultor (T<sub>0</sub>) presentan beneficios netos inferiores a los tratamientos en estudio (T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>) cualquiera de estos dos que se utilice resulta más ventajoso.*

### 4.6.3. Análisis marginal.

*Para tener una mejor perspectiva de lo que implica cambios de una tecnología a otra, es necesario apoyarse en la Tasa de Retorno Marginal y así determinar que tan beneficioso resulta el cambio.*

*Es de señalar que para la localidad de Ciudad Arce no es necesario realizar la Tasa de Retorno Marginal, puesto que el tratamiento testigo incluso hasta presenta pérdidas (¢ - 39.09), por lo que solo se tomará la localidad de Rosario de Mora:*

*TRMg = Tasa de Retorno Marginal para Rosario de Mora.*

$$(T_1) TrMg = 2230.21 - 22.2/681.13 - 534.3$$

$$\frac{2208.81}{146.83} = \text{¢ } 15.04 \times 100 = 1504\%$$

$$T_2 TRMg: 2328.29 - 22.2/670.4 - 534.3$$

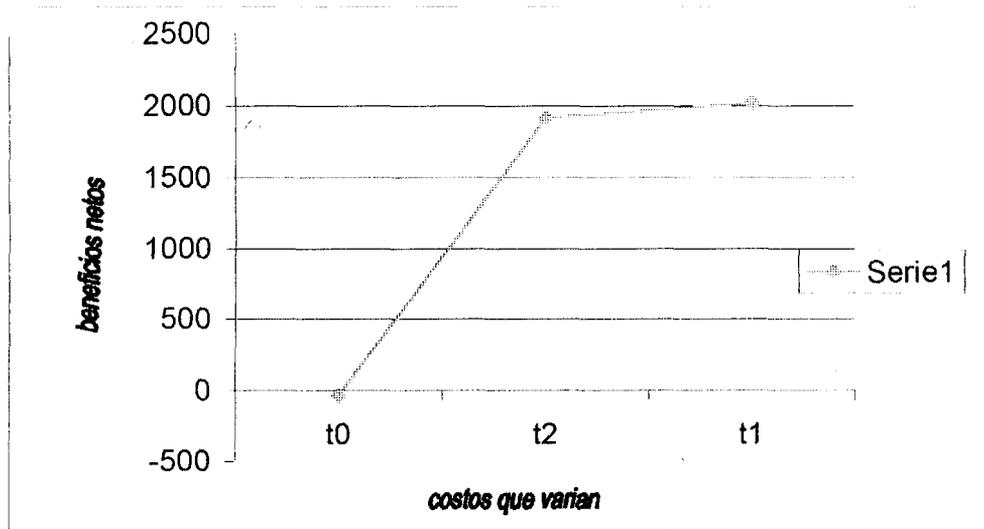
$$TrMg = \frac{2306.09}{136.1} = 16.94 \times 100 = 1694\%$$

*La Tasa de Retorno Marginal para T1 resulta con un valor de ¢ 15.04, lo que quiere decir que por cada colón invertido en cambiar del sistema tradicional de cultivo (T0) al sistema de cultivo en callejones (madrecacao + vetiver) el agricultor espera obtener el colón invertido más ¢ 15.04 colones de beneficio.*

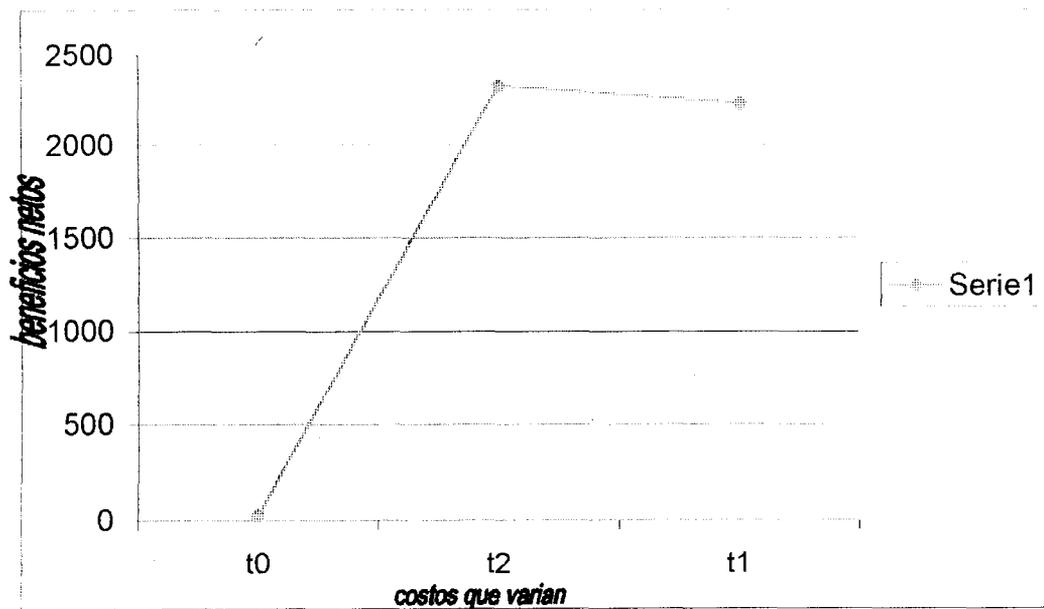
*Para el T2 la Tasa de Retorno Marginal resulta con un valor de ¢ 16.94, esto indica que por cada colón invertido en cambiar del sistema tradicional del agricultor (T<sub>0</sub>) al sistema Gandul + Vetiver (T<sub>2</sub>) el agricultor espera obtener el colón invertido más 16.94 colones de beneficios.*

#### ***4.6.4 Curva de beneficios netos***

*Las Figuras 12 y 13 muestran la curva de beneficios netos del localidades bajo estudio, en ellas se demuestra y confirma que los tratamientos conservacionistas (T1 y T2) generan mayores ingresos económicos en comparación al sistema tradicional del agricultor (T<sub>0</sub>); por lo que dicha curva indica que los beneficios obtenidos en el sistema de cultivo en callejones compensan la inversión realizada en ellos.*



*Fig. 12. Curva de beneficios netos de la investigación para la localidad de Ciudad Arce, 1998.*



*Fig. 13. Curva de beneficios netos de la investigación, para la localidad de Rosario de Mora, 1998.*

#### 4.7. *Interés y participación de los productores.*

*Esta variable al ser sometida al criterio de los productores y técnicas arrojó información importante para la investigación; lo cual contribuyó al enriquecimiento del estudio y a formar nuevos criterios para posteriores investigaciones. Los resultados más relevantes se detallan en el siguiente cuadro:*

*Cuadro 23. Bondades, limitantes y sugerencias del sistema cultivo en callejones, obtenidos en la evaluación participativa, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*

BONDADES	LIMITANTES	SUGERENCIAS
Los tratamientos conservacionistas mejoran el suelo y los cultivos producen más.		Las tecnologías son buenas y por lo tanto hay que promoverlas en otros sitios.
Las parcelas con callejones aumentan el valor de la tierra.	Los tratamientos conservacionistas requieren más trabajo.	Algunos consideran que se debe incorporar una leguminosa, de cobertura en los tratamientos conservacionistas.
Es notable la conservación del suelo, a través de la barrera de vetiver.		
En las parcelas con callejones se nota un cambio en el suelo; la tierra es más oscura y más porosa.		

Se reducen los costos de control de malezas y en el mediano plazo, también se reduce la cantidad de fertilizante utilizado.	La investigación se comienza a recuperar en unos 3 a 4 años.	proporcionar el material vegetativo (semilla de gandul y madre cacao y el vetiver.) a productores vecinos.
El sistema mantiene más humedad en el suelo.		
	Si la biomasa de madre cacao no se distribuye adecuadamente, puede dañar el cultivo de frijol(quemarlo).	Dar a conocer los beneficios del sistema a productores vecinos.
		Continuar con el seguimiento de las parcelas.

## 5. CONCLUSIONES.

- *Con la implementación del sistema de leguminosas más protección de vetiver para formar los callejones, se puede reducir la pérdida de suelo hasta más de un 50% en tierras inclinadas (de un 35-40% de pendiente).*
- *El cultivo en callejones con el uso de leguminosas, se considera como un medio biológico de conservación y mejoramiento del suelo, pues con la incorporación de la biomasa y el uso del vetiver como barrera de protección, permite modificar algunas condiciones del suelo, entre ellas la fertilidad, la cuál se refleja en el rendimiento de las cultivos.*
- *La protección del suelo como resultado de la distribución de la biomasa proveniente de la poda de las leguminosas, así como la barrera de vetiver favorecen la infiltración de agua en el suelo y disminuyen la evaporación de la mismas conservándose mayor tiempo la humedad en los tratamientos conservacionistas.*
- *El método de los pines para medir la erosión en cultivos densos como el maíz y el frijol parece ser no muy apropiado, ya que estos son muy susceptibles a movimientos y/o alteraciones durante las operaciones de manejo de los cultivos.*



- *Las evaluaciones participativas con productores, extencionistas e investigadores, nos permitió conocer la valoración de las tecnologías en estudio en términos de bondades, limitantes y sugerencias sobre la implementación del sistema de cultivo en callejones.*
  
- *La practica de cultivo en callejones ha despertado el interés de los productores en cuanto a adoptar esta tecnología puesto que las beneficios tanto para ellos como para el suelo son muy notables.*

## 6. RECOMENDACIONES

- ▶ *Difundir las bondades de los sistemas de cultivo en callejones con el uso de leguminosas + protección de vetiver, principalmente en aquellas zonas susceptibles a la erosión hídrica, contribuyendo de esta manera al uso sostenible de los Recursos Naturales.*
- ▶ *Dar un seguimiento y monitoreo durante varios años, a este tipo de sistema de producción, a fin de observar cambios generados en las propiedades suelo, cuyos resultados son más notorios en un mediano y largo plazo.*
- ▶ *Evaluar diferentes épocas y alturas de poda en el gandul, ya que muchos agricultores lo prefieren por tener usos alimenticios y forrajero.*
- ▶ *En cultivos densos como el maíz y frijol, las barillas (pines) como método de cuantificación de pérdida de suelo deben ser reforzadas o señaladas por ejemplo, con baras de bambú a fin de evitar alteraciones durante las actividades de manejo del sistema y de toma de datos.*

## 7. BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE VIGIL, G. M.; PABÓN DE LARA, A. 1999. *Estudio del efecto del SAF cultivo en callejones sobre la fertilidad natural y conservación del suelo, en parcelas de validación del CENTA. Avance de resultados año 3 (1997). Convenio UES-PASOLAC. FAC. CC.AA. UES. San Salvador, El Salvador.*

A.S.D.I. (ASOCIACIÓN SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL). 1997. *Mezclas orgánicas y semi orgánicas para controlar plagas, enfermedades y malezas de nuestros cultivos. San Vicente, San Salvador. P. 25-27.*

BANCO MUNDIAL. 1995. *Vetiver, la barrera contra la erosión. III. Edición. Washington, D.C. EE.UU. P. 46-69.*

BEER, J. W.; FASSBENDER, H. W.; HEUVELDOP, J. 1989. *Avances en la investigación agroforestal Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica. P. 51, 52, 214, 215 y 218.*

BENNETT, H. H. 1965. *Elementos de conservación del suelo. Traducción Carlos Gerhard. Fondo de Cultura económica. México, D.F. P. 21 y 22.*

- BINDER, U. 1997. *Manual de leguminosas de Nicaragua. Programa para la agricultura sostenible en laderas de América Central. Estelí, Nicaragua. P. 49, 65-69 y 114-118.*
- CAMERO, L. A. *Agroforestería: Conceptualización y Posibilidades área de sistemas agroforestales. CATIE. Turrialba, Costa Rica. P. 2, 15, 20 y 25.*
- CARTER, J. 1997. *Cultivos en callejones. Agroforestería en las Américas. Costa Rica. 4(14). P. 18 y 19.*
- CENTA. 1998. *Propuestas de validación y transferencia de tecnologías conservacionistas de suelo y agua. Programa de Recursos Naturales. San Andrés, La Libertad, El Salvador.*
- CIMMYT. 1986. *Planeación de tecnologías apropiadas para los agricultores. Conceptos y procedimientos. México.*
- CIMMYT. 1988. *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. P. 20-41.*
- CONSTANTINESCO, I. 1976. *Conservación de suelos para Los países en desarrollo. Boletín de suelos de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. P. 1 y 3.*

CURRENT, D. 1997. *Los sistemas agroforestales generan beneficios para las comunidades rurales. Agroforestería de las Américas. Costa Rica. 4 (16) P. 8-14.*

DIRECCIÓN GENERAL FORESTAL (DGF). 1997. *Proyecto de Investigación en Sistemas Agroforestales como alternativas de uso de la tierra en Nicaragua. Managua, Nicaragua. (Nota técnica No. 51). P. 10-15.*

FIAES. PROESA (FUNDACIÓN PROMOTORA DE PRODUCTORES Y EMPRESARIOS SALVADOREÑOS). *Proyecto recuperación ambiental en el cerro de Guazapa. San Salvador, El Salvador. P. 8-9.*

FLINTA M, C. 1960. *Prácticas de plantación forestal en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. P. 337-338.*

FOLLETI, C. 1994. *Siembra directa de barreras vivas en Chinandega – Norte Nicaragua. AGROFORESTERÍA DE LAS AMÉRICAS. Costa Rica. 4 (16). P. 9-10.*

FOURNIER, F. 1975. *Conservación de suelos. Trad. J. A. Medina MUNDI-PRENSA. Madrid, España. P. 79, 92, 131, 132, 170 y 76.*

GARCÍA C.; MENDOZA, V. 1995. *Evaluación de la producción De biomasa del madrecaao (Gliricidia sepium) y Nim (Azadirachta indica) bajo diferentes frecuencias de poda. Centro de Tecnología Agropecuaria y Forestal. La Libertad, El Salvador. P. 2, 5 y 6.*

GARCÍA, C.; SOLANO, S. 1998. *Validación de tecnología en sistemas agroforestales, cultivo en callejones con dos especies leguminosas y protección de vetiver en los sistemas maíz – sorgo. Avance de resultados, año 3. 1997. CENTA-PASOLAC. San Andrés, La Libertad, El Salvador.*

GARCÍA MORÁN, J.; URÍAS REYES. 1998. *Caracterización y ordenamiento de fincas en la Comunidad Bolívar, Municipio de Aguilares, Departamento de San Salvador. UES. Tesis Ingeniero Agrónomo. San Salvador, El Salvador. P. 13-14.*

GEILFUS, F. 1994. *El árbol al servicio del agricultor. Volumen I. ENDA CARIBE/CATIE. Turrialba, Costa Rica. P. 97, 153, 161 y 163.*

GUSTAFSON, A. F. 1957. *Conservación del suelo. CIA Editorial Volumen I. ENDA CARIBE/CATIE. Turrialba, Costa Rica. P. 97, 153, 161 y 163.*

HUDSON, N. 1971. *Conservación de suelos. Cornell University. Ithaca. New York. P. 320.*

- IITA, ALLEY CROPPING MULCH. Instituto Internacional de Agricultura Tropical. Ibadan, Nigeria.
- KANG, B. T.; WILSON, G. F. 1987. The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. In H.A. Atepler, P.K.R. Nair (eds) agroforestry. A decade of development Nairobi, Kenia, ICRAF. P. 227-244.
- KASS, D. L. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivos en callejones (alley) cropping, en la montaña. Turrialba. El Chasqui, Costa Rica. 19:5-24.
- KASS, D. L.; JIMÉNEZ, B. J. 1995. Cultivo en callejones. Programa en Agricultura Tropical Sostenible. CATIE. Turrialba, Costa Rica. P. 1, 4, 15 y 16.
- KIRKBY, M. J. 1993. Erosión de suelos. Trad. José Hurtado Vega. Limusa. México. P. 15, 20, 141 Y 143.
- LANUZA, B. 1997. Barreras vivas. Proyecto de investigación en sistemas agroforestales, alternativa de uso de la tierra en Nicaragua. Managua, Nicaragua. 27 P.
- LEONARD, H.; JEFFREY, L. H. 1986. Recursos naturales y desarrollo económico en América Central. Trad. Gerardo Budowski. CATIE. San José, Costa Rica. P. 131, 133 y 134.

- LÓPEZ, C. G. 1992. *Evaluación de la composición química del ensilaje maíz-gandul en diferentes proporciones*. UES. Tesis Ingeniero Agrónomo. San Salvador, El Salvador. P. 24-28.
- LLERENA, C. A. 1987. *Uso de varillas de erosión para medir erosión hídrica*. UNALM. Departamento de Manejo Forestal. P. 2-8.
- LOW, F. 1967. *Conservación de suelos, control de la erosión por el agua*. Universidad Agraria. Lima, Perú. P. 3-7.
- MAGAÑA ESCOBAR, G; SALDAÑA CALDERÓN, L. 1991. *Elaboración de un rodenticida a base de semilla de madrecaao*. Tesis de Licenciado en Tecnología Agro-Industrial. Universidad José Matías Delgado. San Salvador, El Salvador. P. 23-27.
- MENDOZA, V.M. 1996. *Validación de tecnología en sistemas agroforestales en callejones, con dos especies leguminosas y protección de vetiver*. Avance de Resultados, año 2, 1996. Informe interno. CENTA-PASOLAC. San Andrés, La Libertad, El Salvador.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA MAG.

1975. *Ordenamiento de cuencas hidrográficas y desarrollo agroforestal en El Salvador. San Salvador, El Salvador. P. 61.*

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y RECURSOS

NATURALES. Dirección General Forestal (D.G.F.). 1997. *Proyecto de Investigación en Sistemas Agroforestales como Alternativas de Uso de la Tierra en Nicaragua. Nota Técnica No. 51. Serie Agroforestería. Managua, Nicaragua. P. 5-8, 15 y 16.*

NUILA DE MEJÍA, J. A.; MEJÍA, M. A. 1990. *Manual de diseños experimentales con aplicación a la agricultura y ganadería. San Salvador, El Salvador. P. 18-26.*

ORGANIZACIÓN PARA ESTUDIOS TROPICALES. OET.

1986. CATIE. *Sistemas agroforestales principios y aplicaciones en los trópicos. Costa Rica. P. 40-43.*

QUINTANILLA, J. R. 1995. *Efecto de la densidad de población y métodos de labranza en la producción de dos ciclos agrícolas del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*) bajo el sistema de cultivos en callejones. CATIE. Programa de Enseñanza, Área de Postgrado. Turrialba, Costa Rica. P. 6-13.*

- RADULOVICA, K. 1993. *Validación de tecnología en sistemas agrícolas*. CATIE. Turrialba, Costa Rica (Serie Técnica No. 212). P. 10 y 11.
- RAMOS OLIVA, G.A. 1997. *Comparación de las características del suelo bajo dos formas de labranza en dos lotes del Campo Experimental*. San Salvador, El Salvador. P. 28-30.
- RIVERA, A. 1999. *El gandul abre mercados*. El Diario de Hoy. San Salvador, El Salvador. Marzo 23. P. 65.
- SANDOVAL R. RODRÍGUEZ; HERNÁNDEZ R., ALBERTO. 1994. *Agricultura sostenible inventario tecnológico plan internacional*. La Libertad. IICA. Nueva San Salvador, El Salvador. P. 205 y 206.
- SANTAMARÍA; DEL CID. 1998. *Documentos de investigación C.U.I.C., UES. Año 2, No. 9. Abril*.
- SHARMA, N. P. 1993. *Prevención y control de cárcavas a nivel de finca por medio de métodos vegetativos y estructurales temporales en Honduras*. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica. P. 9-10.
- SMITH, D.D.; WISHMEIER, W.H. 1962. *Reintall erosion advances in agronomy*. EE.UU. P. 109.

SUÁREZ DE CASTRO, F. 1979. *Conservación de suelos*.  
III edición. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San  
José, Costa Rica. P. 139, 143, 167.

VELÁSQUEZ SOLÍS, M. 1998. *Manual para la interpretación  
de análisis de suelos y la fertilización de cultivos*. San Andrés, La  
Libertad, El Salvador. P. 1-5, 27 y 33.

WHITE, R. O.; LEISSNER, G. N. 1955. *Las leguminosas en  
la agricultura*. FAO. Estudios Agropecuarios. Yugoslavia. P. 41 y  
44.

[///CI/NETSCAPE/vetiver.HTM](http://CI/NETSCAPE/vetiver.HTM). 1998. *Información técnica sobre pasto  
vetiver*.

# ANEXOS

*Cuadro A-1. Lecturas de pines tomadas en Ciudad Arce, 1998.*

Anexo 1 A. Cuadro de lectura de pines en las parcelas de investigación.

Lectura	Pin	Madrecacao + Vetiver					Gandul + Vetiver					Testigo				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Callejón No. 1																
1		+0.8	-0.2	+0.6	+0.2	+0.2	+0.4	+0.5	+2.7	+1.2	+0.5	+0.1	+0.2	-1.3	-0.8	-0.3
2		0	+0.1	+1.7	+0.1	+0.1	-0.1	+0.2	+1.9	-0.2	+0.5	+0.2	-0.8	+0.6	-1.8	-0.4
3		-0.4	0	+1.5	+0.2	-0.8	+0.4	-0.8	0	+2.0	-0.1	-0.3	+0.1	+0.8	-2.5	-0.4
4		-1.3	-0.9	-0.1	-1.7	-0.7	-0.4	-2.7	-1.0	+0.9	-1.1	-1.4	-1.0	-0.9	-3.3	-1.3
5		0.3	-0.5	+0.8	-0.7	+0.1	+0.4	-1.1	+1.0	+0.9	0	-0.2	+1.1	0	-2.3	-0.5
Callejón No. 2																
1		+0.5	0	-0.1	+1.2	0	-0.1	+0.5	+1.0	+0.4	+1.1	+0.1	+0.2	+1.0	-0.1	0
2		-0.2	-0.4	-0.5	+1.3	+0.8	-1.5	-0.2	+1.0	+0.2	+1.3	+0.9	-0.3	+0.1	-0.6	+0.1
3		-0.1	+0.3	-0.5	+0.9	+2	-1.1	+0.4	+0.5	+0.5	+1.4	+1.2	-0.4	+0.1	-0.4	-0.2
4		+0.5	-0.2	0	+0.1	+2.4	-1.3	0	+1.0	+0.3	+1.1	-0.3	-0.3	+1.8	+0.3	-0.4
5		+0.3	-0.5	-0.5	-0.2	+0.3	-1.3	-0.6	+0.7	+0.2	-0.5	+0.6	-0.8	-0.3	-0.1	-0.5
Callejón No. 3																
1		+1.6	+1.6	+1.1	+1.0	+1.5	0	+0.9	-0.4	+0.6	+1.1	-0.6	0	-0.4	+1.0	+0.6
2		+1.1	+2.1	+1.0	+1.5	+3.5	+1.1	+1.7	0	+1.0	+2.3	-0.5	+0.1	-0.3	+1.8	+0.8
3		0	+2.3	+2.1	+1.5	+4.0	+3.9	+1.8	-0.7	+1.2	+2.0	-0.4	+1.7	+0.6	+1.3	+1.6
4		0	+1.8	+1.5	+1.4	+3.9	+3.0	+2.1	-0.2	+1.1	+1.4	-0.5	+2.6	-0.4	+1.4	+0.9
5		0	+1.5	2.0	--	+3.0	+2.8	+2.0	-0.3	+0.7	+1.9	-0.3	+1.8	-0.4	+1.5	+0.9

*Cuadro A-2. Lecturas de pines tomadas en Rosario de Mora, 1998.*

*Anexo 2 A. Cuadro de lectura de pines en las parcelas de investigación.*

Pin	Madrecacao + Vetiver					Gandul + Vetiver					Testigo				
Lectura	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Callejón No. 1															
1	0	-0.2	+0.5	-0.3	+0.1	+0.2	-0.1	+0.2	+0.7	+0.3	-0.3	-0.2	+1.1	-0.5	-0.3
2	-0.3	-0.9	+0.2	+0.8	+1.1	+0.6	-0.8	0	+1.0	+0.5	-0.7	+0.1	+0.5	-1.1	+0.3
3	+0.9	-1.7	-0.3	+1.4	-0.4	--	+1.0	-0.6	+0.3	+0.5	+0.3	--	+0.6	-0.5	-0.1
4	--	--	+0.1	-1.4	--	--	+0.2	+0.2	-1.4	+1.6	+0.2	--	-0.4	-1.8	-0.1
Callejón No. 2															
1	+0.2	0.7	-0.3	+0.5	+1.0	-0.4	-0.2	+0.7	0	-0.2	-0.1	-0.1	+0.1	0	+0.1
2	+1.8	+0.4	+0.6	+1.2	+1.3	+1.0	+0.1	+2.0	-0.3	0	-0.4	-0.5	+0.5	-0.1	-0.5
3	+0.9	+0.1	-0.5	+1.0	+0.1	+1.8	+0.2	+1.5	+0.2	+0.8	0	-0.9	+0.5	-0.1	+0.3
4	+0.3	+0.6	-1.5	+0.5	0	+0.1	-0.1	+1.3	-0.8	-0.5	-1.0	--	+0.1	+0.5	-0.4
Callejón No. 3															
1	+0.1	0	+0.4	0	-0.3	-0.2	+0.2	-0.3	-0.6	-0.3	+0.7	-0.6	-0.3	+0.2	+0.3
2	-0.5	0	+0.2	-0.8	-0.1	+0.5	+0.5	+0.5	+0.1	-1.3	+0.5	-1.5	+1.1	+1.0	-0.3
3	-1.1	-0.1	-0.6	-0.5	-0.2	+0.4	+2.8	-0.5	-1.1	+1.3	-0.2	-0.5	-0.4	+0.3	+0.1
4	-1.5	-0.2	-0.4	-1.3	-1.5	-0.5	+1.9	-0.8	-1.5	-0.2	--	+0.2	-1.6	-0.1	-0.6

*Cuadro A-3. Lecturas de pines de las barreras de leguminosas + vetiver tomadas en Ciudad Arce, 1998.*

*Anexo 3 A. Cuadro resumen de las lecturas de pines de las barreras de las leguminosas + vetiver, Ciudad Arce.*

Lectura	T <sub>1</sub>			T <sub>2</sub>			T <sub>3</sub>		
Barrera No. 1									
1	0	0	0	0	0	0	-0.6	0	-0.4
2	+0.2	+0.2	+0.3	+0.2	+0.2	+0.4	-0.5	+0.1	-0.3
3	+0.9	0	0	+0.8	0	0	-0.4	+1.7	+0.6
4	0	0	0	0	0	0	-0.5	+2.6	-0.4
5	-0.3	-0.3	0	-0.3	-0.2	0	-0.3	+1.8	-0.4
Barrera No. 2									
1	+0.5	+1.5	+0.2	+3.0	+0.7	+1.1	+1.0	+0.2	+1.0
2	+5.3	+2.2	+1.2	+1.0	+0.4	+1.8	+0.9	-0.3	+0.1
3	+5.5	+2.0	+1.0	+1.1	+1.1	+2.1	+1.2	-0.4	+0.1
4	+3.8	+1.7	+0.8	+2.1	+0.7	+1.5	-0.3	-0.3	+1.8
5	+3.4	+1.6	+0.5	---	+0.5	+1.3	+0.6	-0.8	-0.3
Barrera No. 3									
1	-1.1	-0.8	-0.1	0	-0.1	-0.4	+0.1	+0.2	-1.3
2	-0.1	-0.5	-0.3	+0.6	+0.1	+9.3	+0.2	-0.8	+0.6
3	---	-0.5	-0.4	+1.3	-0.5	+9.5	-0.3	+0.1	+0.8
4	-0.5	-1.1	-1.3	+0.1	-1.5	+8.2	-1.4	-0.1	-0.9
5	+0.5	-0.1	-0.3	0	-0.6	+8.7	-0.2	+1.1	0

*Cuadro A-4. Lecturas de pines de las barreras de leguminosas + vetiver tomadas en Rosario de Mora, 1998.*

Anexo 4 A . Cuadro resumen de las lecturas de pines de las barreras de leguminosas + vetiver, Rosario de Mora

Lectura	T <sub>1</sub>			T <sub>2</sub>			T <sub>3</sub>		
Barrera No. 1									
1	+0.2	+1.0	+0.4	+0.3	+1.4	+0.5	-0.3	-0.2	+1.1
2	+0.5	+0.1	-0.6	+0.5	+1.6	-0.7	-0.7	+0.1	+0.5
3	+1.1	-0.6	+1.3	-0.1	+0.6	+0.2	+0.3	---	+0.6
4	+1.2	-1.1	+1.5	+0.1	-0.2	+1.1	+0.2	---	-0.4
Barrera No. 2									
1	+0.6	+1.8	+1.6	0	+1.3	+0.5	-0.1	-0.1	+0.1
2	+0.2	+1.3	+1.6	+1.1	+0.6	-0.1	-0.4	-0.5	+0.5
3	-0.7	+0.8	+1.9	-0.1	+0.1	+0.4	0	-0.9	+0.5
4	+0.3	-0.1	+1.1	+1.1	+0.2	+1.0	-1.0	---	+0.1
Barrera No. 3									
1	-0.3	+0.1	+1.4	-0.3	+0.2	-0.7	+0.7	-0.6	-0.3
2	+1.5	+0.9	+2.1	+0.3	+2.1	-0.4	+0.5	-1.5	+1.1
3	+1.9	+0.5	+1.3	+1.6	+0.1	+2.5	-0.2	-0.5	-0.4
4	-0.1	+1.1	+0.9	+1.9	+0.6	+0.5	---	+0.2	-1.6

*Cuadro A-5. Movimiento de suelo en las barreras de vetiver.*

*Anexo 5 A. Cuadro resumen del movimiento de suelo en las berreras de vetiver.*

Barrera	Madrecacao + Vetiver		Gandul + Vetiver		Testigo	
	acum..	Eros.	acum..	Eros.	acum..	Eros.
<i>Ciudad Arce 1997</i>						
1	5.0	10.0	0	13.0	X	X
2	10.0	0	30.0	30.0	5.0	20.0
3	5.0	15.0	15.0	15.0	0	10.0
Promedio	6.6	8.3	19.4	19.4	2.5	15.0
<i>Rosario de Mora 1997</i>						
1	16.6	0	5.0	0	8.3	0
2	10.0	X	X	X	13.3	0
3	10.0	X	10.0	X	10.0	0
Promedio	12.2	0	7.5	0	10.5	0
<i>Ciudad Arce 1998</i>						
1	4.1	3.0	4.0	2.5	13.6	4.22
2	20.8	0	13.14	0	6.67	4.0
3	5.0	5.07	47.25	6.2	4.43	8.43
Promedio	9.93	2.69	21.46	2.9	8.23	16.65
<i>Rosario de Mora 1998</i>						
1	8.1	7.7	7.0	3.3	4.66	4.0
2	11.2	4.0	4.0	1.0	3.0	5.0
3	11.7	2.0	10.8	4.67	6.25	7.28
Promedio	10.33	4.56	8.26	2.99	4.63	5.42

X : No hay datos, se perdió el pin.

*Cuadro A-6. Cálculos para la determinación de pérdida de suelo en las parcelas de validación de Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*

*Fórmula utilizada para determinar pérdida de suelo:*

$$P = 10,000 \times E \times DA$$

*Donde:*

*P = Pérdida de suelo en Tn/ha*

*E = Erosión Neta (Lámina) en m*

*DA = Densidad aparente en Tn/m<sup>3</sup>*

*Fórmula para determinar lámina de suelo erosionada:*

$$E = \frac{\sum \text{Pines(-)} - \sum \text{Pines(+)}}{\text{Total - de - pines}}$$

*Fórmula para determinar densidad aparente (DA):*

$$DA = \frac{\text{Peso - de - suelo - seco}}{\text{Volumen - del - cilindro}}$$

*Datos de densidad aparente (en gr/cm<sup>3</sup>) para cada uno de los tratamientos en Ciudad Arce y Rosario de Mora.*

*Anexo 6<sup>a</sup>. Cuadro datos de densidad aparente gr/cm<sup>3</sup>*

Tratamiento	Ciudad Arce	Rosario de Mora
Madrecacao + Vetiver	0.94	1.08
Gandul + Vetiver	1.07	0.97
Testigo	0.95	1.09

*Cuadro A-7. Costos de producción por hectárea, para el sistema cultivo en callejones en las localidades de Ciudad Arce y Rosario de Mora. 1998-1999.*

*Anexo 7A. Cuadro de costos de producción /ha, pa el sistema cultivo en callejones*

INSUMOS	1843.0	1548.12	1548.12	No Jornales			Costo Jornal	Costo Total/Jornal ¢		
				T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>		T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
Semilla (maíz)										
Semilla (frijol)										
Fertilizante										
Insecticida										
Herbicida										
Preparación suelo	385	322	322							
Chapoda				11	9.2	9.2	35	385	322	322
Labores culturales	1540.0	1293.6	1293.6							
Siembra de maíz				5	4.2	4.2	35	175	147	147
Siembra de frijol				6	5	5	35	210	175	175
Fertilización maíz				5	4.2	4.2	35	175	147	147
Fertilización frijol				3	2.5	2.5	35	105	88.2	88.2
Limpieza maíz				11	9.2	9.2	35	385	322	322
Limpieza frijol				8	6.7	6.7	35	280	235.2	235.2
Control plagas										
- Maíz				3	2.5	2.5	35	105	87.5	87.5
- Frijol				3	2.5	2.5	35	105	87.5	87.5
Cosecha de maíz	805	676.2	676.2							
(Dobla, tapisca, etc.)				23	19.4	19.4	35	805	676.2	676.2
Cosecha frijol	770	646.8	646.8							
				22	18.4	18.4	35	770	646.8	646.8
Costo total/ha ¢	5343.0	4488.52	4488.52							

*Costos de producción por manzana:*

*Anexo 7B. Cuadro costos de producción /mz. para el sistema cultivo en callejones*

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
INSUMOS	1290.1	1083.68	1083.68
Labores culturales	2450.0	2058.0	2058.0
TOTAL ¢/Mz.	3740.1	3141.68	3141.68

*Cuadro A-8. Costos/tratamiento del establecimiento de las barreras, para el sistema cultivo en callejones, en las localidades de Ciudad Arce y Rosario de Mora. 1998-1999.*

INSUMOS	TRATAMIENTOS	
	$T_1$	$T_2$
- <i>Zacate Vetiver (macolla)</i>	840	840
- <i>Semilla de gandul</i>	137	---
- <i>Semilla de madrecaao</i>	--	7.5
<i>MANO DE OBRA</i>		
- <i>Preparación el terreno</i>	35	35
- <i>Trazado de curvas</i>	35	35
- <i>Siembra de gandul</i>	--	35
- <i>Siembra de madrecaao</i>	35	--
- <i>Siembra de vetiver</i>	70	70
<i>TOTAL ¢/Tratamiento</i>	<i>1152.0</i>	<i>1022.5</i>

*Los costos de inversión para el establecimiento de las barreras serán prestados por el banco bajo las siguientes condiciones:*

- *El 100% de la inversión será dado por el banco*
- *La tasa de interés es del 13% a.a*
- *Plazo de 10 años y un año de gracia.*

*Cuadro A-9 Plan de financiamiento para el establecimiento de las barras en Ciudad Arce y Rosario de Mora.*

ANOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cuota	---	133.33	133.33	133.33	133.33	133.33	133.33	133.33	133.33	133.33
I (13%)	156	156	138.67	121.33	104.06	86.67	69.34	52.00	34.67	17.34
Total a pagar	156	289.33	272	254.66	237.33	220	202.67	185.33	168.0	150.67
Saldo	1200	1066.67	933.34	800.01	666.68	533.35	400.02	266.69	133.36	0.03

*Costo de la barrera/ha = ¢ 1152.00 = ¢1200.00*

*¢ 1200 ÷ 9 (años) = 133.3 cuota/año*

*Como el año en que se ha realizado la investigación del sistema cultivo en callejones, es el cuarto, el total a pagar por la barrera (costo de barrera) es de: ¢ 254.66.*

*Ahora bien, como este (¢ 254.66) corresponde a todo el año, tenemos:*

*¢ 254.66 ÷ 12 (meses): ¢ 21.22/mes.*

*Dado que el ciclo agrícola de estos cultivos (maíz-frijol) es de 6 meses, el costo de la barrera durante este tiempo es el siguiente:*

*¢ 21.22 x 6 (meses) = ¢ 127.32 costo de barrera (TI)*

*Cuadro A-10 Plan de financiamiento para el establecimiento de las barreras en Ciudad Arce.*

AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Cuota</i>	---	116.66	116.66	116.66	116.66	116.66	116.66	116.66	116.66	116.66
<i>I (13%)</i>	136.5	136.5	121.33	106.17	91.0	75.84	60.67	45.51	30.34	15.17
<i>Total a pagar</i>	136.5	253.16	237.99	222.83	207.66	192.5	177.33	162.17	147.0	131.83
<i>Saldo</i>	1900	1688.89	816.68	700.02	583.36	466.70	350.04	233.38	116.72	0.06

*Costo de barrera /tratamiento ¢1022.5 = ¢1050*

*¢ 1022.5 ÷ 9 (años) = ¢ 116.66 cuota/año.*

*Como el año en el cual se ha realizado la validación del sistema cultivo en callejones, corresponde al cuarto, el total a pagar por la barrera (costo de barrera) es de: ¢ 222.83.*

*Ahora bien, como este (¢222.83) correspondiente a todo el año, tenemos:*

*¢ 222.83 ÷ 12 meses = ¢ 18.87/mes.*

*Dado que el ciclo agrícola de estos cultivos (maíz - frijol) es de seis meses, el costo de la barrera durante este tiempo es el siguiente:*

*¢18.87 x 6 (meses) = ¢111.42/costo de barrera (T2).*

*Cuadro A-11. Cálculo de la cantidad de fertilizante aportado por las leguminosas (madrecacao y gandul) al sistema cultivo en callejones.*

LOCALIDAD	RENDIMIENTO KG/HA.	
	Madrecacao	Gandul
Ciudad Arce	3832.7	4272.7
Rosario de Mora	3552.0	3803.34

**CIUDAD ARCE: Madrecacao**

2071.2 kgs. peso fresco \_\_\_\_\_ 490.6 kgs de peso seco(\*\*\*\*)

3832.7kgs peso fresco \_\_\_\_\_ x

x = 907.8 kgs seco/ha.

1263.0 kgs de materia seca \_\_\_\_\_ 23 kgs de nitrógeno (N) (\*\*)

907.8 kgs de " " \_\_\_\_\_ x

x = 16.53 kgs materia seca/ha. X 2.2 (lbs) = 36.4 lbs. De Nitrogeno/ha

100 lbs de Sulfato de Amonio \_\_\_\_\_ 21 lbs de Nitrógeno.

X \_\_\_\_\_ 36.4 " " "

X = 173.3 lbs de Sulf. Amonio.

173.3 lbs de sulf amonio \_\_\_\_\_ 10000m<sup>2</sup>

x \_\_\_\_\_ 1000m<sup>2</sup>

x = 17.33 lbs sulfato de amonio/1000m<sup>2</sup> 8T1) = 0.17 qq S.A

**ROSARIO DE MORA:**

$$X = 16.05 \text{ lbs sulfato de amonio}/1000\text{m}^2 (T1) - 0.16 \text{ qq S:A}$$

(\*\*\*): Quintanilla, Q.J.R., 1,994.; (\*\*): Yaomah et. al, 1,994.

*Cálculo de la cantidad de fertilizante aportado por el gandul.*

*Gandul: (Ciudad Arce)*

$$700 \text{ qq materia verde} / \text{_____} 30 \text{ qq de materia seca}$$

(Binder, U. 1997)

$$94 \text{ qq materia verde} / \text{_____} x$$

$$x = 4.02 \text{ qq materia seca} = 400\text{lbs/ha}$$

$$100\text{lbs materia seca} / \text{_____} 2.61\text{lbs de Nitrogeno (N)}$$

(Binder, U. 1997).

$$400 \text{ lbs de materia} / \text{_____} x$$

$$x = \underline{10.44 \text{ lbs de nitrogeno (N)/ha}}$$

$$100 \text{ lbs de sulfato de amonio} / \text{_____} \text{ lbs de nitrógeno}$$

$$x / \text{_____} 10.44 \text{ lbs " "}$$

$$x = \underline{49.7 \text{ lbs de Sulfato de Amonio/ha}}$$

$$49.7 \text{ lbs de Sulfato de Amonio} \text{_____} 10,000 \text{ m}^2$$

$$x \text{_____} 1,000 \text{ m}^2$$

$$x = \underline{4.97 \text{ lbs S.A./1000m}^2(T2) = 0.049 \text{ qq}}$$

**ROSARIO DE MORA:**

$$\text{Rendimiento biomasa verde} = 3803.34 \text{ kgs/ha} = 83.67 \text{ qq}$$

$$\text{Aporte de fertilizante} = \underline{4.45 \text{ lbs Sulfato de Amonio}/1000\text{m}^2(T2) =}$$

$$\underline{0.045\text{qq.}}$$

*Cuadro A-12 Cálculo del rendimiento de grano de maíz y frijol, para el sistema cultivo en callejones, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*

*Muestras/trat.- 3 ( 1/callejón); Área muestreada = 18 m<sup>2</sup>.*

***Resultados de muestreo de maíz en kg/18m<sup>2</sup>.***

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T0</i>
<i>Ciudad Arce</i>	<i>7.31</i>	<i>5.71</i>	<i>4.50</i>
<i>Rosario de Mora</i>	<i>6.57</i>	<i>7.65</i>	<i>5.15</i>

*Ejemplo: del cálculo de rendimiento*

*Ciudad Arce*

*T2: 18m<sup>2</sup> — 5.71 kg.*

*10,000 m<sup>2</sup> — x=3172 kg.*

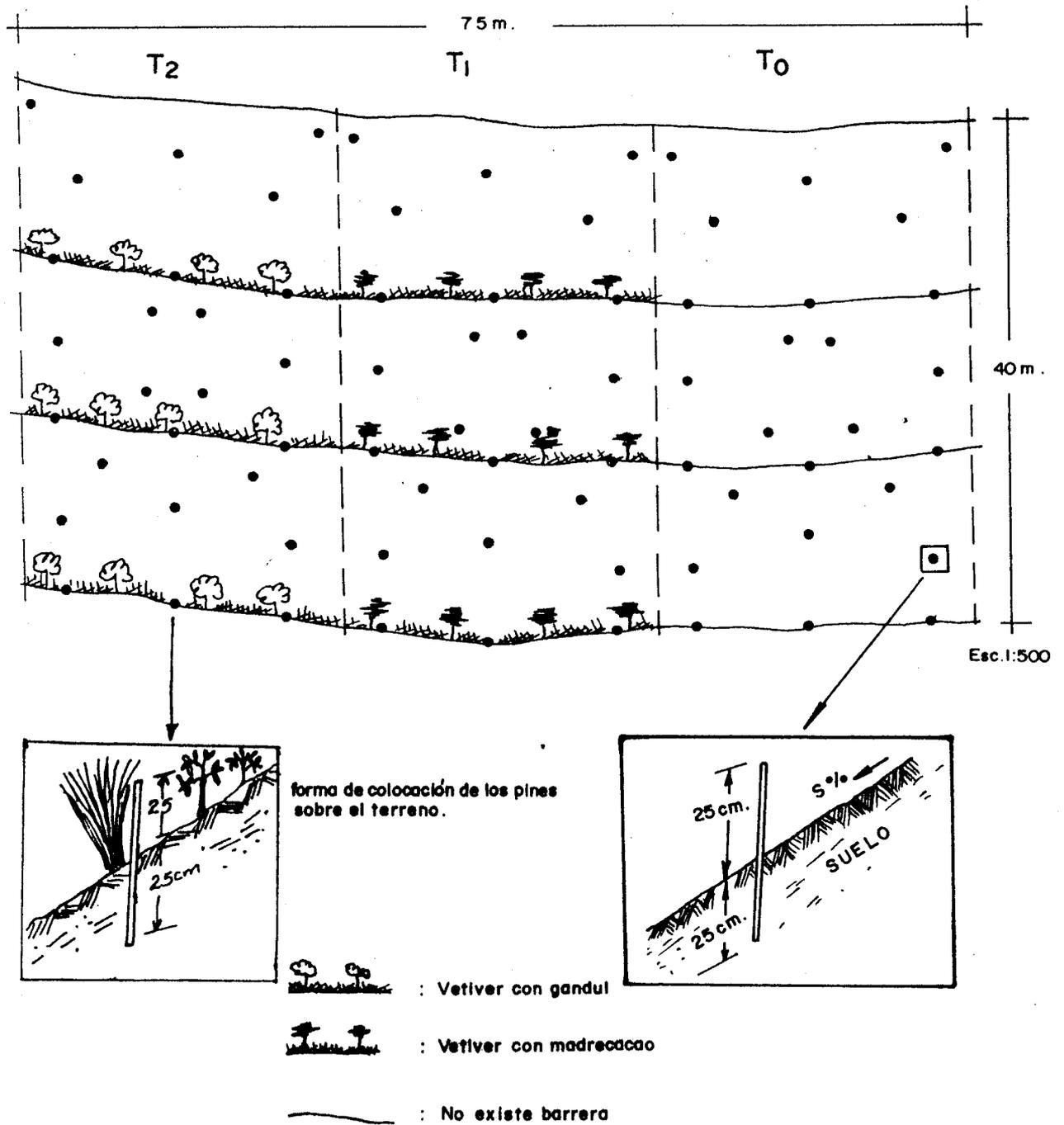
***Rendimientos de maíz en kg/ha para Ciudad Arce***

<i>TRATAMIENTO</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T0</i>
<i>Rendimiento (kg/ha)</i>	<i>4064</i>	<i>3172</i>	<i>2498</i>

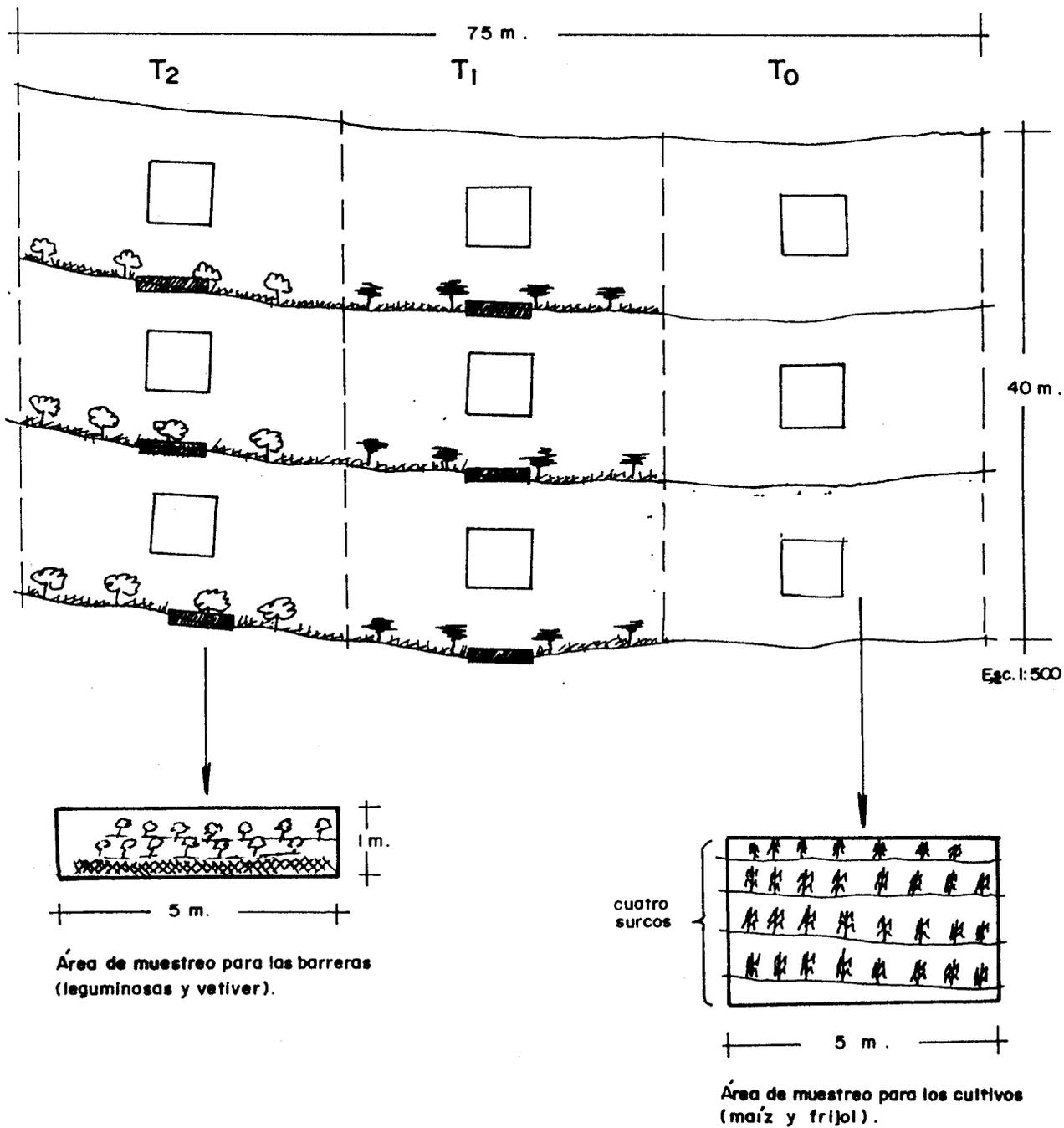
*Rendimientos ajustados, le restamos el 16.2% que equivale al área que ocupan las obras conservacionistas ( leguminosas + vetiver)*

<i>TRATAMIENTO</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T0</i>
<i>Rto. Ajustado (kg/ha)</i>	<i>3405.6</i>	<i>2656.1</i>	<i>2498.0</i>

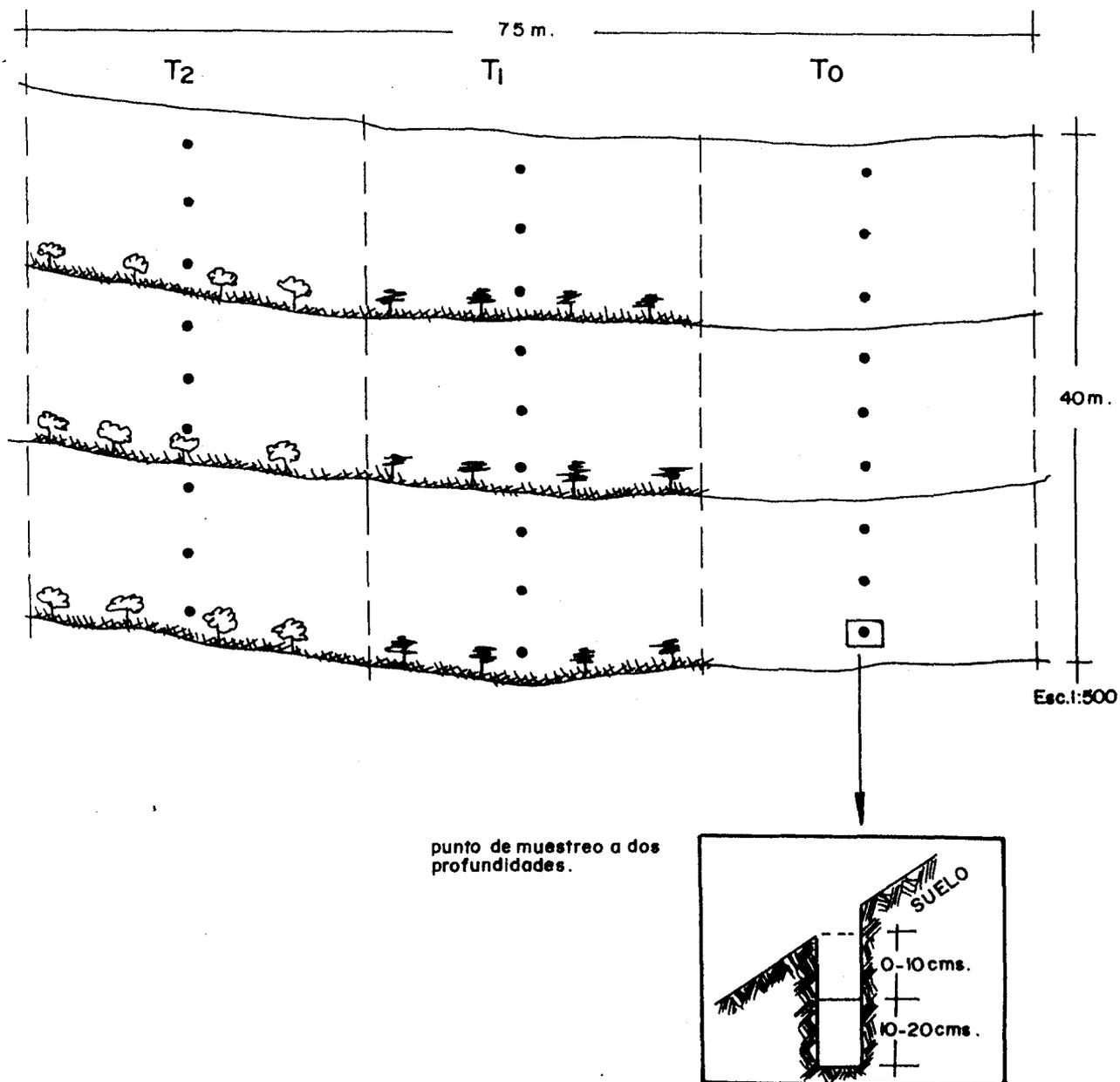
*Para el cultivo de frijol, el área muestreada y el cálculo del rendimiento es el mismo que para el maíz.*



*Figura A-1 Plano de Campo de las parcelas de investigación y distribución de los pines en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*



*Figura A-2 Puntos de muestreo para determinar rendimiento de los cultivos y producción de biomasa de las leguminosas y vetiver, en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*



*Figura A-3 Puntos de muestreo de suelo para determinar porcentaje de humedad en Ciudad Arce y Rosario de Mora, 1998.*