

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**



**“EVALUACIÓN AGRO – FINANCIERA DE TRES SISTEMAS DE MAÍZ +
LEGUMINOSAS Y LOMBRIABONO; Y SU EFECTO EN LA RECUPERACIÓN DEL
SUELO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL Y DE PRÁCTICAS DE LA UNIVERSIDAD
DE EL SALVADOR.”**

POR:

OSCAR NEFTALI GUERRA CASTILLO

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO.**

SAN SALVADOR, OCTUBRE DE 2,012.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL:

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

ING. AGR. Y Msc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

ING. AGR. Y Msc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA:

ING. AGR. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

DOCENTES DIRECTORES:

ING. AGR. JULIA AMALIA NUILA DE MEJÍA

ING. AGR. CARLOS ALBERTO AGUIRRE CASTRO

COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. AGR. MARIO ANTONIO BERMUDEZ MÁRQUEZ

RESUMEN.

La investigación consistió en la evaluación de dos leguminosas (*Cajanus cajan* y *canavalia ensiformes*) y lombriabono en la recuperación de las propiedades químicas y biológicas del suelo así como también el incremento del rendimiento del cultivo de maíz (Híbrido Platino). El proyecto se desarrolló en el período 2006– 2008, en la localidad de San Luis Talpa, La Paz. Se utilizaron tres sistemas de cultivo: Maíz-Gandul (M-G), Maíz-Canavalia (M-C) y maíz monocultivo fertilizado con lombriabono (M-L).

La efectividad de los sistemas se determinó midiendo variables de tipo agronómicas, utilizando el diseño de Bloques al azar con seis repeticiones, considerado el principio de pseudoreplicación y la Prueba de “t” de Student para una muestra; Para maíz se estudiaron las variables: Número de plantas, rendimiento promedio de grano, peso del rastrojo de maíz; para gandul: rendimiento de biomasa; y para el cultivo de canavalia: peso fresco de follaje, número de vainas por plantas, número de guías por planta. Además se realizó el análisis de suelo después de cada ciclo agrícola para evaluar el aporte de nutrientes; y el análisis nematológico y microbiológico del suelo.

Se consideró además una evaluación económica para determinar cuál de los sistemas es más rentable y que genera mejores ganancias para los agricultores. Mediante Jornadas demostrativas hubo intercambio de experiencias entre agricultores vecinos y así poder medir el grado de aceptación de los sistemas, sus beneficios y sus ventajas.

Los resultados más relevantes después de tres años de implementadas las parcelas, relacionadas con las características agronómicas de los cultivos fueron: El sistema que mostró mejores rendimientos de maíz fue: Maíz - Canavalia (110.96 qq/ha); después el sistema Maíz-Lombriabono (106.58qq/ha), y por último el sistema Maíz – Gandul (67.16 qq/ha). Se determinó además que el cultivo de Gandul aporta 1154.86 qq/ha de material verde al suelo y el cultivo de Canavalia aporta 849.72 qq/ha. El comportamiento químico del suelo en el área de estudio reportados al inicio del ciclo agrícola (2006) presentó un contenido de materia orgánica (M.O.) de 5.65% - 6.89, acidez del suelo (pH) 5.50 – 4.60, Nitrógeno (N) > 35 ppm, Fósforo (P) 61.95 – 53.2 ppm, Calcio 4.00 – 3.63 meq/100 gr de suelo, Magnesio (Mg) 4.10 – 3.63 meq/100 gr de suelo y Aluminio (Al) 2.36 -1.12 meq/100 gr existiendo un ligero comportamiento en el cambio de fertilidad del suelo durante la implementación del estudio (2006-2008). Los análisis microbiológicos y nematológicos mostraron un incremento en el contenido de estos microorganismos. La evaluación económica demostró que el sistema M-C presentó una utilidad de \$1.06 por cada dólar invertido, el sistema M-L su utilidad fue de \$1.01 y el sistema M-G de \$0.31.

AGRADECIMIENTOS.

***A LOS DOCENTES DIRECTORES:**

ING. AG. JULIA AMALIA NUILA DE MEJIA.

ING. AG. CARLOS ALBERTO AGUIRRE CASTRO.

DEDICATORIA.

*** A KARINA RECIOS (ESPOSA), GABRIELITO (HIJO QUERIDO), GLORIA CASTILLO (MADRE), YANCI CASTILLO - KARINA CASTILLO (MIS HERMANAS), MI ABUELA Y DEMAS FAMILIA POR EL APOYO Y LOS ANIMOS BRINDADOS EN ESTE LARGO TRAYECTO QUE EN ESTE MOMENTO ESTOY CONCLUYENDO.**

ÍNDICE GENERAL.

| | |
|---|-------|
| RESUMEN | iv |
| AGRADECIMIENTOS | v |
| DEDICATORIA | iv |
| INDICE GENERAL | vii |
| INDICE DE CUADROS | x |
| INDICE DE FIGURAS | xii |
| INDICE DE ANEXOS | xiii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 2 |
| 2.1 Características del Cultivo del maíz. | 2 |
| 2.1.1. Importancia del cultivo de maíz. | 2 |
| 2.1.2. Fisiología del cultivo de maíz. | 2-3 |
| 2.1.3. Requisitos de suelo. | 3 |
| 2.1.4. Valor nutricional del maíz. | 4-5 |
| 2.2. Características del cultivo del gandul (<i>Cajanus cajan</i>). | 5 |
| 2.2.1. Descripción botánica del gandul (<i>Cajanus cajan</i>) variedad G-wailor. | 5 |
| 2.2.2. Fisiología y agroecología del cultivo del gandul (<i>Cajanus cajan</i>). | 5-6 |
| 2.2.3. Composición química del follaje de gandul y su rendimiento en biomasa. | 6-7 |
| 2.2.4. Contribución del gandul al mejoramiento del suelo. | 7-8 |
| 2.3 Características del cultivo de Canavalia (<i>Canavalia ensiformis</i>). | 8 |
| 2.3.1. Descripción botánica del cultivo de Canavalia (<i>Canavalia ensiformis</i>). | 8 |
| 2.3.2. Fisiología y agroecología del cultivo de canavalia (<i>Canavalia ensiformis</i>). | 8 |
| 2.3.3. Composición química del follaje de canavalia. | 9 |
| 2.4 Importancia de los abonos orgánicos. | 9-10 |
| 2.5. Importancia de los cultivos de cobertura en la mejora del suelo. | 10 |
| 2.6. Importancia de las leguminosas utilizadas como abonos verdes en la mejora de los suelos. | 11-12 |
| 2.7. Importancia de la presencia de rastrojos en los suelos. | 12-13 |
| 2.8. Mecanismos de fijación del Nitrógeno por las leguminosas. | 13-15 |
| 2.9. Características físicas de importancia en los suelos. | 15-16 |
| 2.10. Biología de los suelos. | 16-17 |
| 2.11. Resultados experimentales con el asocio de maíz y leguminosas. | 17-18 |
| 2.12. La lombricultura. | 18-19 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.13. | Adopción de tecnología. | 20 |
| 2.14. | Evaluación financiera. | 21 |
| 3. | MATERIALES Y METODOS. | 22 |
| 3.1. | Características agroclimáticas de la zona de ubicación del experimento. | 22 |
| 3.2. | Metodología de campo. | 23-25 |
| 3.3 | Variables a evaluar en los tres sistemas de cultivo. | 25-26 |
| 3.4. | Metodología estadística. | 26-27 |
| 3.4.1. | Diseño estadístico. | 27 |
| 3.4.2. | Modelo estadístico. | 27-28 |
| 3.4.3. | Prueba de significancia estadística. | 28 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSION | 29 |
| 4.1. | Resultados experimentales para el cultivo del maíz (año 2008). | 29 |
| 4.1.1. | Número promedio de plantas de maíz por parcela. | 29-30 |
| 4.1.2. | Peso del rastrojo de maíz en cada sistema de cultivo en libras (año 2008) | 31-32 |
| 4.1.3. | Rendimiento de grano de maíz en cada sistema en libras. | 32-33 |
| 4.2. | Resultados experimentales para el cultivo de gandul. | 33 |
| 4.2.1. | Peso fresco promedio de follaje de gandul. | 33-34 |
| 4.3. | Resultados experimentales para el cultivo de canavalia. | 34 |
| 4.3.1. | Número de guías por plantas de canavalia. | 34-35 |
| 4.3.2. | Promedio de número de vainas por planta de canavalia. | 35-36 |
| 4.3.3. | Peso fresco promedio de follaje de canavalia. | 36-37 |
| 4.4. | Análisis químico correspondiente a los tres años de investigación (2006 – 2008). | 37 |
| 4.4.1. | Materia orgánica en % (M.O.). | 38 |
| 4.4.2. | Acidez del suelo (pH). | 39-40 |
| 4.4.3. | Nitrógeno nítrico(N) en ppm. | 40 |
| 4.4.4. | Potasio (K), en ppm. | 41 |
| 4.4.5. | Fósforo (P), en ppm. | 41-42 |
| 4.4.6. | Calcio (Ca), meq en 100 gr. de suelo. | 43-44 |
| 4.4.7. | Magnesio (Mg), en meq / 100 gr. de suelo. | 44-45 |
| 4.4.8. | Aluminio (Al), en meq / 100 gr. de suelo. | 46 |
| 4.5. | Análisis nematológico y microbiológico del suelo, en el periodo 2006-2008. | 47 |
| 4.5.1. | Análisis Nematológico. | 47-48 |

| | | |
|---------|--|-------|
| 4.5.2. | Análisis microbiológico del suelo (Hongos y bacterias). | 48-49 |
| 4.6. | Evaluación de los sistemas propuestos por parte de los agricultores. | 49-50 |
| 4.7. | Análisis económico. | 50-51 |
| 4.7.1. | Relación Beneficio / Costo (B/C). | 52 |
| 4.8. | Discusión de resultados relacionados al cultivo de maíz. | 53-55 |
| 4.9. | Discusión de resultados relacionados al cultivo de gandul. | 55-56 |
| 4.10. | Discusión de resultados relacionados al cultivo de canavalia. | 56-57 |
| 4.11 | Variables relacionadas a los análisis químicos. | 58 |
| 4.11.1. | Materia orgánica. | 58-59 |
| 4.11.2. | Nitrógeno. | 59-61 |
| 4.11.3. | Fósforo. | 61-62 |
| 4.11.4. | Calcio + Magnesio. | 62-63 |
| 4.11.5. | pH del suelo. | 63-64 |
| 4.12. | Análisis nematológicos y microbiológicos del suelo durante el período 2006-2008. | 64 |
| 4.13. | Evaluación económica. | 65 |
| 5. | CONCLUSIONES. | 66 |
| 6. | RECOMENDACIONES. | 67 |
| 7. | BIBLIOGRAFIA. | 68-72 |
| 8. | ANEXOS. | 73-80 |

ÍNDICE DE CUADROS

| CUADRO N° | CONTENIDO | PÁG. |
|------------------|---|-------------|
| 1 | Temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo de maíz. | 3 |
| 2 | Composición media del grano de maíz en porcentaje sobre el peso seco. | 4 |
| 3 | Características agronómicas del maíz Híbrido Platino. | 4 |
| 4 | Resumen fonológico del gandul solo y asociado con maíz (número de días hasta la ocurrencia de las fenofases indicadas). | 6 |
| 5 | Composición química del follaje de gandul. | 6 |
| 6 | Rendimiento en campo y bromatología de la variedad de gandul Gwailor-3. | 7 |
| 7 | Composición química del follaje de canavalia. | 9 |
| 8 | Microorganismos importantes involucrados en la fijación biológica del nitrógeno. | 15 |
| 9 | Porcentaje de elementos nutritivos del lombrihumus. | 19 |
| 10 | Descripción de los sistemas en estudio. | 27 |
| 11 | Tabla de Análisis de Varianza para un diseño de bloques completos al azar. | 28 |
| 12 | Análisis de varianza para número promedio de plantas de maíz por sistema/ parcela de 4m ² . | 29 |
| 13 | Número promedio de plantas de maíz por sistema. | 30 |
| 14 | Análisis de varianza para peso de rastrojo de maíz por sistema en libras. | 31 |
| 15 | Peso promedio de rastrojo de maíz por sistema en qq/ha. | 32 |
| 16 | Análisis de varianza para la variable rendimiento de grano de maíz. | 32 |
| 17 | Rendimiento de grano de maíz por sistema en qq/ha. | 33 |
| 18 | Datos de la prueba t student para la variable peso fresco de follaje de gandul por planta en qq/ha. | 34 |
| 19 | Prueba de t de student para peso fresco de follaje verde de gandul por planta en libras. | 34 |
| 20 | Datos de la prueba de t student para la variable número de guías por planta de canavalia. | 35 |
| 21 | Prueba de t de student para número de guías por planta de canavalia. | 35 |

| | | |
|----|---|----|
| 22 | Datos de la prueba de t student para la variable número de vainas por planta de canavalia. | 36 |
| 23 | Prueba de t de student para número de vainas por planta de canavalia. | 36 |
| 24 | Datos de la prueba de t student para la variable peso promedio de follaje de canavalia en qq/ha. | 37 |
| 25 | Prueba de t de student para peso fresco promedio de follaje de canavalia en libras. | 37 |
| 26 | Contenido de materia orgánica (%) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008. | 38 |
| 27 | Contenido de pH en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008. | 39 |
| 28 | Contenido de Nitrógeno (ppm) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008. | 40 |
| 29 | Contenido de Potasio(ppm) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008. | 41 |
| 30 | Contenido de Fósforo (ppm) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008. | 42 |
| 31 | Contenido de Calcio (meq/100gr) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008. | 43 |
| 32 | Contenido de Magnesio (meq/100gr) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008. | 45 |
| 33 | Contenido de Aluminio (meq/100gr) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008. | 46 |
| 34 | Resultados de los análisis nematológico en la fase inicial de la investigación (año 2006). | 47 |
| 35 | Resultados de los análisis nematológico en la fase final de la investigación (año 2008). | 48 |

| | | |
|----|---|----|
| 36 | Resultados del análisis microbiológico en el año 2006. | 48 |
| 37 | Resultados del análisis microbiológico en el año 2008. | 49 |
| 38 | Presupuesto parcial por manzana de los diferentes tratamientos. | 51 |
| 39 | Relación beneficio costo de los diferentes tratamientos. | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS.

| FIGURA N° | CONTENIDO | PÁG. |
|-----------|---|------|
| 1 | Número promedio de plantas de maíz / parcela de 4m ² . | 30 |
| 2 | Peso promedio de rastrojo de maíz por sistema en qq/ha. | 31 |
| 3 | Rendimiento de grano de maíz por sistema en qq/ha. | 33 |
| 4 | Contenido de Materia Orgánica (%) en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008. | 38 |
| 5 | Contenido de pH en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008. | 40 |
| 6 | Contenido de Fósforo en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008. | 42 |
| 7 | Contenido de Calcio (meq/100gr) en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008. | 44 |
| 8 | Contenido de Magnesio (meq/100gr) en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008. | 45 |
| 9 | Contenido de Aluminio (meq/100gr) en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008. | 46 |

INDICE DE ANEXOS.

| ANEXO N° | CONTENIDO | PÁG. |
|----------|---|------|
| 1 | Plano de distribución de los sistemas en campo | 74 |
| 2 | Plano de ubicación de la investigación en la Estación Experimental y de Prácticas de la Universidad de El Salvador. | 75 |
| 3 | Asocio de maíz + gandul. | 76 |
| 4 | Asocio de maíz + Canavalia. | 76 |
| 5 | Asocio de maíz + Canavalia. | 77 |
| 6 | Pesado del rastrojo de maíz. | 77 |
| 7 | Rendimiento de grano de maíz. | 78 |
| 8 | Pesado del follaje de gandul. | 78 |
| 9 | Pesado del follaje de canavalia. | 79 |
| 10 | Muestreo de suelos. | 79 |
| 11 | Aceptación de tecnologías. | 80 |
| 12 | Influencia del pH en el suelo | 80 |

1. INTRODUCCIÓN.

En nuestro país, los granos básicos son la principal fuente alimenticia y la mayor parte de la producción nacional proviene de los pequeños agricultores. La presión por producir alimentos básicos (maíz y frijol) ha conducido a los agricultores a producir estos cultivos en tierras de ladera no apropiadas para cultivos anuales, con el resultado de producir con cierto grado de éxito, dependiendo de la zona, pero el deterioro del recurso suelo es muy notorio por la falta de prácticas de conservación de suelos. Según Sosa, H. et. Al. (1989), se han realizado mediciones que indican pérdidas mayores de 200 Tm³/ha/año, en suelos inclinados que son cultivados con el sistema maíz – frijol en relevo. Las leguminosas y los abonos orgánicos son una de las principales fuentes mediante las cuales se pueden mejorar las características físicas y químicas de los suelos, así lo menciona Moscoso B. y Pérez C. (1990), que es bien conocido que el uso de cultivos de cobertura tienen grandes beneficios para el suelo y que son las leguminosas las más utilizadas. Los beneficios se manifiestan principalmente en incorporación de materia orgánica y nitrógeno, mayor retención de humedad, disminución de la erosión y mejoramiento de la estructura del suelo.

Los objetivos de la investigación fueron: 1) Cual de los sistemas de cultivo Maíz – Gandul (M-G), Maíz – Canavalia (M-C) y Maíz - Lombriabono (M-L) ejerce un mejor efecto en las características químicas y biológicas del suelo; 2) Determinar cual de los sistemas M-G, M-C, M-L contribuye a mejorar el rendimiento del grano del cultivo de maíz mediante el aporte de los residuos al suelo y la aplicación de lombriabono; 3) Determinar la importancia de los sistemas propuestos desde el punto de vista de los agricultores; 4) Evaluar cual de los tres sistemas propuestos (M-G, M-C, M-L) es más rentable para los agricultores. La investigación se realizó en el periodo comprendido entre los meses de mayo a Noviembre de 2008, en la estación experimental y de prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, cantón Tecualuya, San Luis Talpa, departamento de La Paz.

2. REVISION DE LITERATURA.

2.1. Características del cultivo de maíz.

2.1.1. Importancia del cultivo de maíz.

Según IICA 2007. La importancia económica agregada del maíz en la región centroamericana es de gran envergadura. El valor bruto de la producción del maíz a precios del mercado mayorista del año 2005 en cada país, fue de 1,100 millones de dólares. La generación de empleo alcanza los 119 millones de jornales. En El Salvador el maíz es un cultivo que forma parte de la seguridad alimentaria de las familias del sector rural, y es importante pues se registro para el año 2005 una producción de maíz de 724,315 toneladas.

2.1.2. Fisiología del cultivo del maíz.

Parsons D. (2001), menciona que la fisiología del maíz esta determinada en gran medida por el factor genético. La forma de crecimiento y desarrollo de la planta depende de las condiciones ambientales. Bajo condiciones apropiadas de temperatura, humedad y aireación, el maíz germina dentro de los seis días posteriores a la siembra, no requiere luz para germinar.

El maíz es un cultivo que requiere un período mínimo de crecimiento de 120 días; el estado fenológico del cultivo más sensible a los cambios de temperatura es la comprendida entre los 20 días anteriores y los 20 días posteriores a la floración. La duración del periodo vegetativo comprende desde la germinación de las semillas hasta la floración esta relacionada con la temperatura, en dicha fase la etapa que va desde la floración hasta la madurez fisiológica es de cerca de 50 días para todas las variedades (Gispert 2003).

Parsons (2001), dice que el cambio de la fase vegetativa a la fase productiva se produce más temprano, cuando el periodo del cultivo coincide con días cortos; y durante días largos el maíz florece tardíamente. Vilanova J. R. (1985), menciona que la floración es afectada por la temperatura. Temperaturas superiores a 30°C tienden a provocar una inflorescencia masculina más temprana que la femenina. Bajo condiciones en temperaturas menores de 20°C la inflorescencia femenina aparece más temprano que la masculina.

Según Parsons (2001), para una buena producción de maíz, la temperatura debe oscilar entre 20°C y 30°C. La óptima depende del estado de desarrollo; dichas temperaturas son:

Cuadro 1. Temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo de maíz.

| Estado fisiológico | Mínima | Optima | Máxima |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Germinación | 10°C | 20 – 25°C | 40°C |
| Crec. vegetativo | 15°C | 20 – 30°C | 40°C |
| Floración | 20°C | 21 – 30°C | 30°C |

Fuente: Parsons 2001.

Las mayores necesidades hídricas se producen desde 15 – 20 días antes de la floración hasta que los granos se encuentran en estado de madurez semi- pastoso. La condición ideal de humedad del suelo, para el desarrollo del maíz es el estado de capacidad de campo. La cantidad de agua durante la temporada de crecimiento no debe ser menor de 300mm. La cantidad óptima de lluvia es de 550mm, la máxima de 1000mm (Gispert 2003). El maíz necesita transpirar unos 350 litros de agua por kilogramo de materia seca producida, aunque este valor puede variar por causa del clima, el suelo, la fecha de siembra o las técnicas de cultivo empleadas entre otros factores (Vilanova J. R. 1985).

2.1.3. Requisitos de suelo.

El maíz necesita suelos profundos y fértiles para dar una buena cosecha, la textura franca permite un buen desarrollo del sistema radicular con mayor eficiencia de absorción de la humedad y de los nutrientes del suelo; la estructura granular provee un buen drenaje y retiene el agua, además son preferibles suelos con un alto contenido de materia orgánica. El pH óptimo se encuentra entre 6 y 7 (Parsons 2001).

2.1.4. Valor nutricional del maíz.

El maíz es uno de los cultivos más importantes desde el punto de vista de la alimentación humana y animal. Sus granos son un alimento energético típico debido a que son ricos en carbohidratos principalmente almidón. La proteína es deficitaria en algunos aminoácidos esenciales como lisina y triptofano. Posee una elevada cantidad de ácidos grasos insaturados, permite reducir los niveles de colesterol en la sangre (Gispert 2003).

Cuadro 2. Composición media del grano de maíz en porcentaje sobre el peso seco.

| Fracción | Almidón | Proteínas | Grasas | Azúcar | Ceniza | Otros |
|-----------------------|---------|-----------|--------|--------|--------|-------|
| Grano | 71 | 10 | 4.5 | 1.7 | 1.4 | 11.4 |
| Endospermo (82.2%) | 88 | 8 | 0.8 | 0.6 | 0.3 | 97.7 |
| Embrión (11.10%) | 8 | 18 | 3.5 | 10.5 | 10.6 | 80.6 |

Fuente: Gispert 2003.

Según Gispert (2003), el grano de maíz posee una gran cantidad de almidón la cual se concentra en su mayor porcentaje en el endospermo; aunque los niveles mas altos de proteína se encuentran en el embrión.

Cuadro 3. Características agronómicas del maíz Híbrido Platino.

| Híbrido | Días a floración | Altura/planta (m) | Altura/mazorca (m) | Tolerancia | | Largo mazorca (cm.) | D. de la tibia | Nº de hileras/mazorca | Color de grano | Rend. q/ha |
|---------|------------------|-------------------|--------------------|------------|------|---------------------|----------------|-----------------------|----------------|------------|
| | | | | sequía | haca | | | | | |
| Platino | 53 | 2.75 | 1.30 | si | si | 29 | 91 | 15 | blanco | 148.92 |

Fuente: Análisis de laboratorio Facultad de CC.AA.

El maíz conocido como “platino” es un híbrido que presenta una alta calidad proteica, además altos rendimientos de grano en qq/mz que el híbrido H – 59 cuyos rendimientos son en promedio de 131 qq/ha. Además presenta 1.53% de nitrógeno, 0.092% de triptofano y 9.50% de proteína.

El cultivo de maíz produce biomasa en alto porcentaje, de la cual solo se cosecha cerca del 50% en forma de grano. El resto corresponde a diversas estructuras de la planta tales como caña, hojas, limbos y mazorcas entre otros. La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz de grano oscila entre 20 – 37 ton/ha, esta producción depende principalmente de la variedad, nivel de fertilización y tipo de cultivar (García CM. 2004).

2.2. Características del cultivo de gandul (*Cajanus cajan*)

2.2.1. Descripción botánica del Gandul (*Cajanus cajan*), variedad *Gwailor-3*

La variedad de gandul *Gwailor-3* es un arbusto anual o perenne, crece hasta 4 metros de altura, sus hojas son lanceoladas estrechas y pilosas, flores amarillas, brotan en racimos terminales, vainas cortas de 5 – 6 cm, y contienen de 4 a 6 semillas de color rojo. Tienen raíz primaria de enraizamiento sumamente profundo que puede alcanzar hasta 3 metros de profundidad (Skerman 1991).

2.2.2. Fisiología y Agroecología del cultivo de gandul (*Cajanus cajan*).

El *Cajanus cajan* es una planta de día corto, existen variedades de día largo, floración semideterminada, una mata de gandul forma hasta 5000 flores en un mes. El desarrollo inicial es moderado, el crecimiento productivo es alto, el crecimiento radical tiene gran capacidad para el reciclaje de nutrientes (Ulrike B. 1997).

Estudios realizados por PASOLAC en 2000 mencionan que; el gandul se adapta bien a altitudes bajas y medias que van desde los 0 – 1500msnm. Las temperaturas óptimas van desde los 18 – 35°C. Las precipitaciones desde 700 -2500mm anuales, requiere de 5 meses de lluvias para establecerse bien y para sobrevivir el verano. Se adapta a suelos arenoso – francos y franco – arcillosos. La profundidad requerida de los suelos es de más de 30 centímetros de profundidad. Crece en suelos de buena y moderada infiltración, no es tolerante a encharcamientos y no se adapta bien a suelos pedregosos. La tolerancia a la sequía es buena posee un sistema radical profundo, en la estación seca puede producirse caída de la hoja en el tercio inferior de la planta, la cual es una función natural.

Cedano J. (2006), menciona que el gandul se puede cultivar en terrenos desde arenosos a arcillosos, pesados y pedregosos. La planta tolera pH desde ácidos a alcalinos (4.5 – 8.5)

Cuadro 4. Resumen fenológico del gandul solo y asociado con maíz (número de días hasta la ocurrencia de las fenofases indicadas).

| Fenofase | Monocultivo | Asociación |
|------------------------|-------------|------------|
| Emergencia | 10 | 10 |
| Botones florales | 85 | 100 |
| Antesis | 95-100 | 125 |
| Máxima floración | 110 | 140 |
| Primeras vainas verdes | 115 | 135-140 |
| Máxima fructificación | 125 | 150 |
| Primeras vainas secas | 125 | 150 |

Fuente: Quiroz y Marín (1998).

Quiroz A. y Marín D. (1998); determinaron que el asocio del gandul con cualquier otro cultivo como maíz, aumenta los días en las diferentes fases fenológicas del gandul y cuando este mismo se encuentra en monocultivo se observó una notable disminución en sus funciones fenológicas.

2.2.3. Composición química del follaje de gandul y su rendimiento en biomasa.

Las ramas tienen bastante hoja y todas sus vainas tienen del 40 – 50% de materia seca y proteínas hasta el 16% de la materia seca, y presentan el 32.8% de extracto de nitrógeno libre en la materia seca (Skerman 1991).

Cuadro 5. Composición química del follaje de gandul.

| Muestra | Nutrientes en % de materia seca / kg | | | | | | Relación |
|---------|--------------------------------------|------|------|------|------|-------|----------|
| | N | P | K | Ca | Mg | C | C/N |
| Gandul | 6.00 | 0.14 | 2.61 | 1.79 | 0.45 | 56.30 | 21.57 |

Fuente: Ulrike B. (1997).

Según Ulrike B. (1997), la composición química del follaje de gandul presenta altos niveles de concentraciones de Nitrógeno así como también de Carbono; en comparación con otros elementos que se presentan en menores cantidades.

Cuadro 6. Rendimiento en campo y bromatología de la variedad de gandul Gwailor-3

| Materia verde en qq/ha | Altura en cm | Humedad % | Mat seca % | Prot bruta % | Prot digestib % | Prot pared cel % | Fibra % |
|-------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------|
| 584.17 | 176 | 59.78 | 40.22 | 22.37 | 16.99 | 5.38 | 37.89 |

Fuente: Salazar A. (1989)

Salazar A. (1989). En la introducción y evaluación de gandules forrajeros en San Andrés, una de las variedades mas importantes resulto ser, la variedad Gwailor – 3, cuyos rendimientos en materia verde son de 584.17 qq/ha; en materia seca fue de 234.95 qq/ha.

Sin la utilización de fertilizantes se obtuvieron rendimientos de materia verde de 671.70 qq/ha lográndose una relación de 4:1, es decir que por cada 4 quintales de materia verde se logra uno de materia seca. Esta relación se logro en un suelo franco arcilloso con un buen contenido de materia orgánica (Nuila J. A. 2001).

Según Ulrike B. (1997), obtuvo rendimientos de biomasa entre 1022 – 1314 qq/mz de materia verde y 657 qq/ha de materia seca, en relevo llega a 87.60 qq/ha con un contenido de nitrógeno de 182.50 libras/ha.

2.2.4. Contribución del gandul al mejoramiento del suelo.

Según Skerman (1991), el gandul esta considerado como una planta para restablecer la fertilidad del suelo y se utiliza en rotación; se comprobó además que el gandul tiene una fijación máxima de 14.5 mg., de nitrógeno por día. Ulrike B. 1997, en cambio dice que el gandul presenta incrementos en el nitrógeno disponible para las plantas de 94 - 635 lb/ha/año. Es un cultivo que aporta gran cantidad de nitrógeno, ya que su capacidad de fijación de nitrógeno es alta, la cosecha de grano reduce la contribución de nitrógeno, hojas, tallos y raíces leñosas aumentan el contenido de carbono orgánico y mejoran la estructura del suelo. Tiene un alto grado para controlar la compactación; además presenta un nivel moderado a bajo para controlar la erosión y las malezas.

Cedano J. (2006); menciona que el gandul por su difuso y profundo sistema radicular contribuye con la disminución de la erosión, especialmente cuando se cultiva como perenne después que la planta se ha establecido y además incorpora nitrógeno atmosférico al suelo, mediante una simbiosis de la planta con bacterias del género *Rhizobium*. Además posee un efecto alelopático, que inhibe el crecimiento de plantas arvenses en una proporción de 5 – 10gr de hojarasca por metro cuadrado de superficie.

2.3. Características del cultivo de Canavalia (*Canavalia ensiformis*).

2.3.1. Descripción botánica del cultivo de Canavalia (*Canavalia ensiformis*)

Planta vigorosa herbácea anual trepadora o arbusto leñoso, trifoliolada, folíolos aovados o elípticos, muy acuminada en el ápice, mas o menos cuneiforme en la base, hasta de 20 cm de largo y 10 cm de ancho, lisa, con 6 o 7 pares de nervios laterales; con un promedio de hasta 15 ramificaciones que se forman a partir del tallo central. Escasas flores rosas, malvas o blancas, con base roja sobre un eje robusto de unos 2.5cm de largo. Vaina variable, ensiforme, alargada, de 30 cm de largo o más, con dos nervaduras longitudinales cerca de la sutura superior; con un número de vainas de 7 – 12 por planta, semillas estrechas y elipsoides, blancas, lisas. Cada semilla tiene un hilo pardo que se extiende por una cuarta parte de la misma (Skerman 1991).

2.3.2. Fisiología y agroecología del cultivo de canavalia (*Canavalia ensiformis*).

Planta de día corto, es anual, pero se vuelve perenne en zonas húmedas y puede sobrevivir de 2 – 4 años. Posee la capacidad de rebrote después del corte, lo que permite producir más de una cosecha. El desarrollo inicial es rápido, el crecimiento productivo es alto. El sistema radicular presenta alta capacidad de reciclaje de nutrientes (Ulrike B. 1997). La canavalia o frijol espada se adapta bien a temperaturas que van desde los 15 – 30°C, con precipitaciones de 640 – 4200mm/año. Crece en los rangos de altitud de 0 -1800 msnm, es tolerante a sequías y a sombra; pero muy poco a inundaciones. Se desarrolla bien en suelos pobres y con poco contenido de Fósforo y se adapta a suelos salinos. El pH es de 4.3 – 8.0; y se adapta a suelos de textura arenoso – franca a arcillosa (Ulrike B. 1997).

2.3.3. Composición química del follaje de canavalia.

Según Ulrike B (1997), la canavalia aporta grandes cantidades de Nitrógeno, Potasio y Carbono al suelo, más que los otros elementos presentes. Por lo tanto la canavalia es una planta que aporta de 131 – 525 libras/ha/año de nitrógeno al suelo, además tiene un alto rango de control de la erosión, así como también un alto a moderado rango para controlar las hierbas invasoras.

Cuadro 7. Composición química del follaje de canavalia.

| Muestra | Nutrientes en % de materia seca/ kg | | | | | | Relación |
|-----------|-------------------------------------|------|------|------|------|-------|----------|
| | N | P | K | Ca | Mg | C | C/N |
| Canavalia | 2.19 | 0.15 | 5.62 | 1.35 | 0.63 | 50.15 | 15.72 |

Fuente: Ulrike B. (1997).

2.4. Importancia de los abonos orgánicos.

Según Cervantes M.A. (2003), los abonos orgánicos, aumentan la capacidad que posee el suelo de absorber los distintos elementos nutritivos, así como también mejoran diversas características físicas, químicas y biológicas del suelo, que a continuación se detallan:

1. Propiedades físicas.

El abono orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes. Mejora la estructura y textura del suelo, haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos.

Mejoran la permeabilidad del suelo, ya que influyen en el drenaje y aireación de éste. Disminuyen la erosión del suelo, tanto de agua como de viento y aumentan la retención de agua en el suelo, por lo que se absorbe más el agua cuando llueve o se riega, y retienen durante mucho tiempo, el agua en el suelo durante el verano.

2. Propiedades químicas.

Los abonos orgánicos aumentan el poder tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH de éste. Aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que aumentamos la fertilidad.

3. Propiedades biológicas.

Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios y constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente.

2.5. Importancia de los cultivos de cobertura en la mejora del suelo.

Los cultivos de cobertura son cubiertas vegetales vivas que cubren el suelo y que es temporal o permanente, el cual esta cultivado en asocio con otras plantas (Pound B. 1997).

Se utilizan para proteger el suelo contra la acción directa de las lluvias y de mejorar sus condiciones físicas y químicas para el crecimiento del cultivo posterior (Suárez de Castro F. 1979).

Los cultivos de cobertura pueden ser considerados como abonos verdes ya que presentan algunas características benéficas como por ejemplo: la reducción de la erosión, el incremento de la fertilidad del suelo y la eficiencia de la fertilización, reducción de las malezas y costo de la limpieza, reducción de las tareas de labranza, incremento en la disponibilidad de agua para el cultivo, aumento en la infiltración y reducción de la escorrentía, reducción de plagas y enfermedades, previsión de otros ingresos (CREDHO 1998).

Según Núñez, M. A. (1991), las leguminosas son usadas como cultivos de cobertura y presentan buenas alternativas para la conservación de los suelos, controlan las malezas y como fuente de alimentación para animales, además presentan buenos atributos en la minimización en los costos de producción de los cultivos.

Según Pound B (1997), los cultivos de cobertura reducen los costos de los insumos (fertilizantes) y mano de obra; generan ingresos por venta de semilla y forraje, incrementan la productividad de los cultivos asociados, disminuyen el período del cultivo, incrementan la fertilidad del suelo, reduce la degradación del suelo, además reduce las pérdidas de fertilidad por la práctica de la quema.

2.6. Importancia de las leguminosas utilizadas como abonos verdes en la mejora de los suelos.

Las leguminosas utilizadas como abonos verdes son importantes pues son los agentes más eficientes y baratos para el mejoramiento de la estructura del suelo y la fuente más económica de nitrógeno para la producción y el mejoramiento del valor nutritivo de las gramíneas (Ulrike B. 1997).

Suárez de Castro F. (1979), afirma que solo en terrenos muy pobres esta justificado cultivar durante un año una planta, con el objeto de enterrarla. Estas plantas encajan dentro de la rotación de cultivos en aquellos lapsos de recolección de una cosecha y la siembra de la otra. Al enterrar las leguminosas se deben dejar transcurrir de 2 – 3 semanas antes de comenzar la siembra del cultivo principal, con el objetivo de que se logre una acción directa de las bacterias sobre estas plantas al descomponerlas y dejar disponibles en el suelo elementos como nitrógeno, potasio, fósforo y otros. Pero es importante mencionar que al incorporar el material al suelo existe una corta deficiencia transitoria de nitrógeno debido a la proliferación de bacterias, que utilizan este elemento como su alimentación.

Flores P. (1997), menciona que una superficie tersa, libre de malezas vivas o muertas conlleva a efectos dañinos porque los suelos son arrastrados por el agua y el viento y señala que los beneficios posibles de la incorporación de leguminosas son: el uso de suelos poco profundos, control de erosión hídrica, control de malezas por la cobertura, aporte de materia orgánica, y mejorar la infiltración del agua.

Según García C. (S.F.) El éxito del uso de leguminosas como abonos verdes se mide por el incremento en el rendimiento del cultivo siguiente o el menor laboreo en la preparación de la cama de siembra; el ahorro de fertilizante nitrogenado para el cultivo siguiente, mayor cantidad de agua disponible en el suelo y un aumento en la penetración de las raíces, la reducción de enfermedades o plagas que afecten a los cultivos que le siguen. Uno de los efectos del no uso de leguminosas es que las partículas de arcilla, tienden a unirse en el suelo de manera que impiden la penetración de aire lo mismo que la absorción y retención de humedad, al enterrarse un abono verde se mezcla con el suelo, mejorando las condiciones de aireación; el enriquecimiento del humus actúa al rodear las partículas minerales en forma de película fina que retiene la humedad y absorbe nutrimentos (Suárez de Castro F. 1997).

Los cultivos de leguminosas proporcionan canales por medio de sus raíces a las capas subsuperficiales, conduciendo a mas altas tazas de infiltración y agregados mas estables en agua. Uno de los efectos adversos en condiciones climáticas de sequía es que la misma porosidad proporcionada por parte de las leguminosas al suelo ocasiona una competencia por el agua disponible entre las mismas plantas (Pound B. 1997).

La reducción de las pérdidas de humedad en el suelo pueden ser atribuida a varios factores: las reducciones en la evaporación y el escurrimiento superficial. Las diferencias en el contenido de humedad del suelo se hacen mas pronunciadas en épocas de sequía, evidenciándose que la preparación del suelo abierto atenúa los déficit hídricos de corta duración (www.fao.org)

Las leguminosas al descomponerse en materia orgánica, ejercen su acción sobre los nematodos y hongos fitopatógenos que desarrollan efectos fitotóxicos. Al aumentar la capacidad estabilizadora del suelo, se regularán las proporciones de cada población. Desde el punto de vista químico los efectos que provocan son: el aumento del humus, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la disponibilidad que se sucede durante la descomposición produciendo ciertos ácidos que disuelven y liberan alimentos esenciales como calcio, fósforo y potasio de las partículas mismas del suelo. Y en cuanto a los efectos físicos la cobertura da protección en el suelo, así como también mejora la tasa de infiltración, la cohesión de las partículas de suelos arenosos, afloja suelos pesados, reduce las pérdidas de suelo por erosión, control de escorrentía, mejora la estructura y reduce las malezas (Núñez M. A. 1991).

Así mismo la FAO, afirma que las leguminosas, aun antes de su manejo como tal, influyen sobre la actividad biológica del suelo por el atenuante efecto físico sobre la variación de la temperatura y por el mantenimiento de buenas condiciones de humedad del suelo (www.fao.org).

2.7. Importancia de la presencia de rastrojos en los suelos.

Los rastrojos son los restos no consumidos de los cultivos, producto de la cosecha. Dentro del sistema de producción tradicional de granos básicos en zonas de laderas, y los materiales considerados como rastrojos son: raíces, tallos y hojas.

Los rastrojos que son dejados sobre la superficie del terreno influyen decisivamente sobre el comportamiento del suelo, y por ende, sobre el comportamiento de los cultivos.

Cuando se mantiene el suelo cubierto por rastrojos, existe un cambio importante de algunas variables que favorecen la vida de los organismos del suelo. Las temperaturas son más bajas y estables y la humedad se mantiene por más tiempo después de una lluvia, a la vez que aumenta sustancialmente la cantidad de material orgánico para estos organismos. En el suelo hay miles de especies de organismos cuyas poblaciones dependen básicamente de estas variables, el pH del suelo y de la disponibilidad de carbono y nitrógeno. Por lo tanto se espera también que en un suelo con rastrojos haya mayor competencia y control recíproco entre las especies presentes y además la mayor humedad en el suelo bajo los rastrojos desfavorece a algunas plagas que se desarrollan mejor en condiciones de sequía. La presencia del rastrojo puede desviar la atención de muchos organismos para que no se alimenten de las raíces de las plantas. Por todas estas razones la posibilidad de una situación negativa debido a plagas y enfermedades por dejar los rastrojos en el terreno, no es frecuente.

2.8. Mecanismos de fijación del Nitrógeno por las leguminosas.

Echeverría y Rozas (1995), menciona que muchos organismos tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, ya sea como organismos de vida libre o en asociación con ciertas especies de plantas, casi un cuarto de la fijación de nitrógeno global es realizada por bacterias del género *Rhizobium* en asociación con especies pertenecientes a la familia de las leguminosas.

Bukman y Brady (1982), demostraron que existen organismos que viven en nódulos radicales, toman libremente el nitrógeno del aire y el suelo y lo sintetizan en formas complejas. Los nódulos son visibles en las raíces de las plantas leguminosas, el resultado de la irritación de la superficie de la raíz es la entrada de los organismos a través de los pelos radicales y en las células de la corteza de las raicillas, cuando crece el tubérculo se verifica también la fijación del nitrógeno.

Es muy importante la fijación que resulta de la asociación de un amplio grupo de plantas superiores, las leguminosas, con las bacterias del género *Rhizobium*. Las raíces de las leguminosas tienen la facultad de poder entrar en simbiosis con estas bacterias que a su

vez, son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico y convertirlo en formas utilizables por las plantas. El resultado es el enriquecimiento de los suelos con nitrógeno, para esto es preciso que exista en el suelo el *Rhizobium* específico de la planta que se cultiva y que se produzca correctamente la asociación entre la bacteria y las raíces (Gispert C. 2003).

Echeverría y Rozas (1995), afirmaron que el nitrógeno fijado por los microorganismos es utilizado por la planta huésped excretado desde el nódulo y usado por las plantas vecinas, o es liberado como nódulos y residuos de leguminosas una vez que estas plantas mueren y son incorporados al suelo.

Zagal E. (2003), antes de llegar a la consecuencia del nódulo, tanto la planta como la bacteria han de seguir un protocolo, de tal manera que sí, cualquiera de ellos incumple alguna de las condiciones establecidas, la formación del nódulo abortará, dicho protocolo se resume en:

- a) Intercambio de señales de naturaleza química entre la planta y el microorganismo.
- b) Activación del ciclo celular, en células del córtex e iniciación del nuevo órgano en la planta.
- c) Infección por parte de la bacteria, formación del canal de infección e invasión de los tejidos recién formados y diferenciación de la bacteria a forma especializada.

Según Bukcman y Brady (1982), Mencionan que el nitrógeno fijado por los organismos nodulares puede sufrir tres transformaciones: puede ser usado por la planta huésped beneficiándose por su simbiosis; el nitrógeno pasa directamente al suelo debido a la separación de sus raíces y nódulos; al enterrar las leguminosas el nitrógeno resulta aprovechable para el cultivo siguiente. Además afirman que la simbiosis leguminosas – *Rhizobium* aporta las mayores cantidades de nitrógeno y por lo tanto es la mas importante desde el punto de vista agronómico, la fijación no simbiótica y asociativa puede tener alguna importancia en algunos sistemas productivos. Gispert C. (2003), expone que existen algunos factores que condicionan la fijación biológica del nitrógeno, y estas son el pH, la actividad fotosintética de las plantas, el clima y el manejo agronómico de las leguminosas.

A continuación se presentan los organismos más comunes involucrados en la fijación de nitrógeno en los suelos:

Cuadro 8. Microorganismos involucrados en la fijación biológica del nitrógeno.

| Microorganismos | Propiedades generales | Usos en la agricultura |
|------------------------|--|---|
| Azobacter | Son aeróbicos, fijadores libres, viven en el suelo asociado a las raíces, en el agua y la hoja, son heterótrofos. | El efecto benéfico sobre los cultivos no ha sido reconocido en la práctica. Debido a que tiene baja capacidad de fijar nitrógeno. Puede tener efectos hormonales sobre el crecimiento de raíces y tallos. |
| Azospirillum | Microaeróbicos, fijadores libres, o pueden estar en asociación con las raíces de algunas gramíneas. Son heterótrofos. | Tienen baja capacidad para fijar nitrógeno, además también tienen efectos hormonales sobre el crecimiento de raíces y tallos. Incrementan la resistencia al déficit hídrico. |
| Rizobhium | Fijan nitrógeno en asociación con leguminosas. Obtienen energía de las sustancias carbonadas, aportadas por los vegetales. | Las leguminosas y los cultivos subsiguientes se benefician del nitrógeno fijado en el suelo. |
| Actinomycetes | Fijan nitrógeno en asociación con árboles que no pertenecen a la familia de las leguminosas. | Son potencialmente importantes en la reforestación. |

Fuente: Echeverría y Rozas (1995).

2.9. Características físicas de importancia en los suelos.

Según Gispert C. (2003). Una de las principales características físicas del suelo es la textura, ya que condiciona el comportamiento del suelo en cuanto a aireación, drenaje, capacidad de retención de agua y facilidad de laboreo. En cuanto a la estructura del suelo, influye de manera importante sobre la velocidad de infiltración del agua y, consecuentemente, sobre la capacidad de retención de agua del suelo. La determinación de la densidad de los suelos es especialmente útil para calcular la capacidad de retención de

agua del suelo y para estimar su grado de compactación. Así también para el crecimiento de las plantas el tamaño de los poros resulta muy importante, que mantengan un equilibrio entre las necesidades de aireación del suelo y de capacidad de retención del agua.

Las propiedades físicas afectadas por la incorporación de abonos verdes son la estructura, la capacidad de retención del agua, la consistencia y la densidad, otras propiedades como la porosidad, la aireación, la conductividad, la hidráulica y la infiltración están ligadas a las modificaciones de la estructura. Sin embargo este efecto depende circunstancialmente de la calidad y la cantidad de biomasa incorporada, de los factores climáticos y de las características del suelo (www.fao.org).

Según Pound B. (1997), la formación de agregados mas estables, conjuntamente con mas aireación, conducen a una disminución en la densidad del suelo bajo cultivos de cobertura, lo cual es generalmente beneficioso al crecimiento de la planta, la compactación del subsuelo es un problema mas común en los suelos agrícolas caracterizados por una estructura pobre a la que han estado sujetos a excesivas labores mecánicas durante varios años. Por medio del laboreo biológico los cultivos como las leguminosas pueden afectar significativamente la infiltración del agua y el arrastre de materia orgánica dentro del suelo.

Suárez de Castro F. (1979), afirma que la materia orgánica es un elemento de importancia de las características físicas del suelo; y por lo general estos son cuerpos de organismos muertos y los residuos de organismos vivos depositados sobre y dentro del suelo; también forman parte los organismos encargados de descomponer esos residuos. Estos almacenamientos de los nutrimentos luego son suministrados en forma lenta y regular a las plantas en crecimiento. En un suelo que se pone bajo cultivo y en el cual se siembran plantas que exigen escardas periódicos; ocurre una reducción en el contenido de humus, atribuible principalmente al estímulo den la actividad de los microorganismos por una mejor aireación; al menor ingreso de material por efecto de las continuas labores de cultivo y el arrastre de los suelos por agua de escorrentía.

2.10. Biología de los suelos.

Los innumerables organismos (bacterias, hongos, lombrices, larvas, nematodos) presentes en el suelo, atacan y se alimentan del tejido vegetal, como una fuente primaria de carbono orgánico y nutrientes para sus procesos vitales. Los rastrojos generalmente favorecen el crecimiento poblacional de los organismos del suelo, puesto que les sirven como alimento, además favorecen las condiciones de temperatura y humedad. Estos organismos al alimentarse de los tejidos vegetales van desintegrando las cadenas carbónicas grandes y complejas transformando el material orgánico en compuesto orgánicos más estables

(húmicas, ácidos fulvicos y húmicos). El crecimiento poblacional de organismos en el suelo es un proceso muy selectivo, aunque la propia diversidad pueda ejercer un autocontrol de la población entre las diferentes especies.

2.11. Resultados experimentales con el asocio de maíz y leguminosas.

Pound B. (1997). Reportó estudios en Yucatán México, revelo los diferentes criterios usados por los campesinos para detectar los cambios que ocurren con la integración de cultivos de cobertura como canavalia y maíz. El cambio en la textura fue experimentado por medio de la porosidad que presentó el suelo y la poca presencia de plantas arvenses. Se relacionó el incremento en la humedad del suelo con respecto a la apariencia física de las plantas durante la escasez de agua.

Según Rodríguez A. et al. (2003); Reportan que el asocio de maíz mas gandul, mediante el sistema de un surco de maíz mas un surco de gandul, se pueden obtener producciones de 54.80 qq/ha de maíz y 164.85 qq/ha de biomasa de gandul, además reporta que las plantas no tuvieron ningún signo de estrés, compartieron luz y agua, y hubo poca competencia por los nutrimentos del suelo.

Cuellar Guzmán (1997), afirma que en cuanto a la interacción que se tiene en un sistema compuesto por maíz mas canavalia sembrada a los 15 días después de sembrado el maíz, se reporta un incremento en los rendimientos de maíz de 51.10 qq/ha, comparado con el rendimiento promedio nacional que es de 46.72 qq/ha; mientras que al sembrar el maíz simultáneamente con el cultivo de canavalia se obtuvieron 46.28 qq/ha de maíz. Esto refleja que la canavalia produce menores niveles de competencia al sembrarse 15 días después de sembrado el cultivo de maíz. Se determinó además que las leguminosas de cobertura no desarrollan todo su potencial en la contribución de nitrógeno al suelo para el primer año de establecido el asocio, se observo que canavalia ensiformes y stizolobiun deeringianum, presentaron escasa nodulación, como producto de las escasas poblaciones de Rhizobium en el suelo y la presencia de abundante nitrógeno químico en los suelos, esto ocasiona que el proceso de fijación natural de nitrógeno sea menos efectivo.

Argueta A. et al. 2006, reporta que en el primer año de ejecución del proyecto “evaluación agronómica y recuperación del suelo con leguminosas y lombriabono”; estudio en el que se evaluaron 3 tratamientos los cuales fueron: T1= Maíz - Gandul (M-G), T2= Maíz - Canavalia

(M-C) y T3= Maíz - Lombriabono (M-L), mostraron los siguientes resultados para la variable rendimiento promedio de grano de maíz en qq/ha; se tiene un rendimiento de 54.02 qq/ha para cada uno de los sistemas que conforman el experimento. En cuanto al peso promedio de biomasa de canavalia fue de 46.23 qq/ha. El rendimiento de biomasa del gandul fue de 127.75 qq/ha. Los resultados para el segundo año de ejecución (año 2007), en cuanto a rendimientos de grano de maíz en los tres sistemas propuestos fueron los siguientes: el asocio de (M-C) con 115.96 qq/ha, seguido de (M-L) con 97.25 qq/ha y (M-G) con 63.00 qq/ha; (Gallegos S. *et al.* 2007).

2.12. La lombricultura.

La lombricultura, consiste en la crianza y manejo de lombrices en condiciones de cautividad, con la finalidad de que estas produzcan el lombrihumus. Es una alternativa fácil y barata para que los productores de escasos recursos económicos, obtengan abonos orgánicos para sus cultivos (PASOLAC 2000).

Según PASOLAC (1999). Otro producto de importancia que contribuye a mejorar las características físicas, químicas y biológicas de los suelos es el lombriabono. Los resultados obtenidos mediante el lombriabono son: la disminución del uso de químicos, por consiguiente de la contaminación y de la reducción de costos, el mejoramiento de la producción, ya que nutre en gran manera a los cultivos, estos se ven mas verdes y rápidamente florecen y producen frutos por el alto contenido de proteínas de las lombrices.

El humus de la lombriz está compuesto por carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, elementos menores y presencia de microorganismos, dependiendo del tipo de substrato que se ofrezca. El humus presenta algunas características o ventajas como: la capacidad de retención del agua, mejora la estructura del suelo, actúa como cemento de unión entre las partículas de suelo, mayor intercambio gaseoso, mayor actividad de microorganismos del suelo, oxidación de la materia orgánica; disponibilidad de nutrientes para las plantas, modera cambios de acidez y neutraliza los compuestos orgánicos tóxicos, protege de enfermedades fungosas y bacterianas a los cultivos; también tiene propiedades hormonales de crecimiento vegetal y por ende del sistema radicular Pineda J; (2006).

El humus es la fracción más estable de la materia orgánica, es una sustancia coloidal carente de estructura cristalina, muy compleja esencialmente de naturaleza lignoprotéica, de color oscuro, con una relación C/N entre 10 a 12 %, el lombrihumus tiene el aspecto de

tierra fina, de color café oscuro, pero su virtud principal esta en los contenidos de ácidos húmicos, numerosos micro nutrientes como hierro, zinc, cobre, manganeso y además una enorme cantidad de bacterias que son las que le dan vida al suelo. Cuando se abona cualquier cultivo con lombrihumus, las raíces no tienen que gastar energía en buscar su alimento. Esto permite a la planta mejorar las características de las flores y frutos, los cuales presentan así un mejor olor, color y sabor. El lombrabono se puede aplicar en cualquier dosis, sin el peligro dañar las semillas. Es notable mejorador de los suelos, haciéndolos más permeables, ayudándoles a retener mas la humedad debido a sus características higroscópicas (PASOLAC 2000).

Las lombrices consumen residuos animales y vegetales en procesos de descomposición, es decir, predigeridos por microorganismos especializados, bacterias, hongos y otros. Estos degradan las proteínas y la celulosa transformándolas en sustancias más simples y de fácil asimilación, también se nutren con diminutos hongos y por supuesto, los antibióticos que se encuentran en ellos que le sirven al animal para inmunizarse y crecer.

Cuando la lombriz elimina mediante la excreción las moléculas de estos antibióticos, dejará una masa bacteriana antibiotizada, compuestos bioestimulantes que estaban contenidos en el citoplasma de los hongos y microorganismos fúngicos en disminución. Se calcula la presencia de 2 billones de bacterias por 1 gramo de lombrihumus (Artiga García J. 1988).

Cuadro 9. Porcentaje de elementos nutritivos del lombrihumus.

| Elemento | Porcentaje | Elemento | Porcentaje |
|-----------|------------|------------------|------------|
| pH | 6.8 – 7.25 | Materia orgánica | 30 – 70 |
| Nitrógeno | 1 – 2.6 | Carbono orgánico | 14 – 30 |
| Fósforo | 2 – 8 | Acido fúlvico | 2.8 – 5.8 |
| Potasio | 1 – 2.5 | Acido húmico | 1.5 – 3 |
| Calcio | 2 – 8 | Sodio | 0.02 |
| Magnesio | 1 – 2.5 | Cobre + hierro | 0.07 |

Fuente: Artiga García J. 1988

Según Artiga G. J. (1988), el humus de lombriz resulta rico en elementos nutritivos, rindiendo en fertilidad de 5 a 6 veces mas que con el estiércol común.

2.13. Adopción de tecnología.

Según IICA 1997. Estudios realizados a nivel mundial han mostrado que el agricultor es también un educador-investigador-extensionista, y se determinó que más del 70% de los agricultores manejan parcelas iguales o menores a 2 manzanas; cuando se dan cuenta de una tecnología novedosa el 65% la prueba antes de usarla definitivamente; el 25% la usa después de ver que otros la han probado y un 10% considera que la principal fuente de opinión de las nuevas tecnologías son familiares y amigos.

Los cultivos de cobertura se prestan para sistemas de bajos insumos externos; y la adopción de los mismos es especialmente rápida donde varias limitantes pueden ser solucionadas a la vez por el cultivo de cobertura. Estas leguminosas (Canavalia y Gandul) constituyen una tecnología que es fácil de diseminar, necesitando únicamente un puñado de semillas y algún conocimiento para difundirlas de lugar en lugar.

En muchas situaciones la diseminación ha sido de agricultor a agricultor, el conocimiento local, la confianza para experimentar y su involucración en la distribución de semillas ha sido efectivo en la diseminación de la tecnología a través del moviendo campesino – campesino (Pound B. 1997).

Núñez M. (1998), manifiesta que la aceptación de estas tecnologías por los agricultores nace en base a algunas mejoras que presenta la utilización de leguminosas como es el caso del control de malezas, por la agresividad que muestran estos cultivos; el incremento en los rendimientos y la minimización de los costos de producción, teniendo como consecuencia positiva que evita la quema y desaparece la agricultura migratoria ya que estabiliza al hombre en el campo.

Según CIDDICO (1994), se reportan buenos niveles de adopción y sostenibilidad por parte de los agricultores en el uso de leguminosas y es que estas pueden intercalarse con cultivos tradicionales sobre terrenos degradados. Los agricultores deben estar en condiciones de producir su propia semilla, la siembra de leguminosas no debe aumentar los costos de mano de obra y estas tienen que caber dentro de los sistemas actuales de los agricultores sin mayores inconvenientes.

2.14. Evaluación financiera.

Para mejorar la eficiencia de técnicos y agricultores en la toma de decisiones para optimizar la distribución de los recursos, es necesario dar seguimiento y efectuar un análisis de las alternativas tecnológicas disponibles. Las investigaciones dan origen a tecnologías, que desde el punto de vista agronómico, pecuario o forestal, presentan rendimientos físicos adecuados, pero que no necesariamente son rentables económicamente. De aquí surge la necesidad de la última fase del proceso de investigación, que es la validación de tecnologías introducidas como prueba a un grupo representativo de productores bajo condiciones reales, lo que incluye un análisis económico para completar la evaluación técnica y social. El presupuesto parcial es un auxiliar de gran valor en la toma de decisiones, ya que puede determinar las ventajas económicas que se derivarían de hacer cambios sencillos en la finca, además organiza los datos experimentales con el fin de obtener los costos y beneficios de tratamientos alternativos a un experimento. Así mismo es aplicable un índice de eficiencia financiera como es la relación Beneficio/Costo, que indica el retorno en dinero obtenido por cada unidad monetaria invertida (Herrera F; et al 1994).

Según Byerlee D. (1988), afirma que el presupuesto parcial es un método que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos y beneficios de los tratamientos alternativos. Así pues el presupuesto parcial calcula el total de los costos que varían y los beneficios netos de cada tratamiento de un experimento en fincas. El presupuesto parcial incluye los rendimientos medios para cada tratamiento, los rendimientos ajustados y el beneficio bruto de campo; además toma en cuenta todos los costos que varían para cada tratamiento.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Características agroclimáticas de la zona de ubicación del experimento.

Es importante señalar que el proyecto se inicio en el año 2006 y la finalización de la fase de campo en el año 2008; por lo tanto la metodología descrita a continuación corresponde al tercer año de ejecución.

Ubicación geográfica.

La fase de campo se llevo a cabo en el período comprendido entre los meses de mayo a noviembre de 2008, en el lote 14 de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el Km. 36 de la carretera Litoral en el Cantón Tecualuya, Jurisdicción de San Luís Talpa, Departamento de La Paz. Las coordenadas geográficas del lugar son: longitud 89°06`W y latitud 13°28`N y a una elevación de 50 metros sobre el nivel del mar.

Características climáticas.

La Estación Experimental y de Practicas de la Universidad de El Salvador, se ubica en la zona climática propia de las sabanas tropicales calientes o tierras calientes según Koppen, Sapper y Laver y según la clasificación de zona de vida del Dr. Holdrige, se encuentra en la un bosque húmedo subtropical (bHS). La temperatura promedio mensual es de 25.7°C, una precipitación mensual de 290mm, humedad (79.5%) y poco viento (2.52 km/h).

Características del suelo.

El suelo donde se realizó el experimento se clasifica en la serie Comalapa – Franco en superficies aluviales del grupo de los regosoles aluviales con una textura franco – arenosa. Pendientes suaves, menores del 2% con topografía plana. Suelos profundos, friables y bien estructurados, buen drenaje y buena capacidad de retención del agua. El contenido nutricional del suelo, según análisis químico antes del montaje del experimento presentaron las características siguientes: nitrógeno (N) >35ppm, fósforo (P) 36.75ppm; Ca + Mg de 3.92 mg/100ml; además presentó un pH de 4.6 y 5.21% de materia orgánica. Se tomaron únicamente estos elementos por la razón que la investigación esta enfocada a pequeños agricultores que por lo general solo verifican el contenido de estos elementos esenciales.

3.2. Metodología de campo.

Delimitación del área experimental.

Para llevar a cabo esta actividad se utilizó cinta métrica, pita y estacas. Se estudiaron tres sistemas de cultivo, la naturaleza de cada uno de ellos y las áreas usadas fueron las siguientes: sistema de Maíz - Gandul (T1) con un área de 720 m²; Maíz - Canavalia (T2) con un área de 600 m² y Maíz - Lombriabono (T3) con 600 m²; luego en cada parcela experimental se delimitaron 6 subparcelas de 4m² para la toma de datos (Ver anexo. 1 y 2).

Manejo agronómico de los sistemas en estudio (M-G), (M-C) y (M-L).

Maíz.

Previo a la siembra del maíz se realizó la limpia de las parcelas de forma manual. La siembra de semilla de maíz en los sistemas (M-C) y (M-L) se realizó en forma manual y a un distanciamiento de 1m entre surco por 0.33m entre plantas y 2 semillas por postura. La semilla utilizada fue Híbrido Platino. La siembra se hizo en época lluviosa (mayo de 2008). En el caso del sistema de (M-G), la siembra se hizo de forma alterna teniendo un surco de maíz y uno de gandul (ver anexo. 3, 4, y 5).

Gandul.

Los distanciamientos utilizados para el cultivo de gandul fueron de 2m entre surco alternando un surco de maíz y uno de gandul; por 0.33m entre planta. La variedad utilizada fue Gwailor – 3, la siembra se hizo manualmente.

Canavalia.

La canavalia se sembró manualmente 25 días después de sembrado el maíz, con el propósito de evitar la competencia por nutrientes y espacio entre estos cultivos. En este sistema la canavalia fue sembrada en medio de los surcos de maíz a un distanciamiento de 0.50m entre plantas.

Fertilización.

Es importante señalar que un objetivo del proyecto fue reducir el fertilizante químico en función del tiempo por lo tanto en el tercer año de desarrollo del proyecto la fertilización química se redujo a 1qq/ha; pues se acentúan como base la práctica del agricultor que por lo general utiliza 4.38qq/ha, tanto de fórmula como de 16 -20 – 0 o de sulfato de amonio.

Se hicieron 2 fertilizaciones al cultivo de maíz, en el caso de los sistemas de M-G y M-C la primera fertilización se realizó una semana después de sembrado el maíz y se aplicó fórmula 16-20-0 en una dosis de 5 gr/planta (1.5 qq/ha), y la segunda fertilización se realizó a los 30 días después de la siembra con sulfato de amonio en una dosis de 5 gr/planta (1.5 qq/ha). En el sistema de (M-L), el cultivo de maíz se fertilizó con lombriabono; se aplicó 2 onzas por planta en cada abonada. Se realizaron 2 aplicaciones la primera se hizo una semana después de la siembra y la segunda 30 días después de la siembra. En cada aplicación de abono se usaron 3qq de lombriabono. La fertilización química fue igual a la de los sistemas M-G y M-C. En el caso de los cultivos de gandul y canavalia, no se realizó ninguna fertilización.

Control de plantas arvenses.

Esta actividad se llevó a cabo mediante control cultural de forma manual. La planta arvense predominante en el tercer año fue flor amarilla, la cual es un indicador de la mejora del suelo. Su control se hizo de forma manual; la primera se hizo 21 días después de la siembra y la segunda 45 días después.

Aporco.

Se realizó al cultivo de maíz 30 días después de sembrado y simultáneamente al momento de la segunda fertilización; el objetivo del aporco fue dar mayor firmeza a las plantas así como también la de eliminar malezas.

Deshije.

Para el cultivo de maíz el deshije se hizo a los 35 días después de la siembra. Y en el cultivo de canavalia se realizó a los 30 días después de la siembra. El fin fue evitar competencia por nutrientes.

Control de plagas y enfermedades.

Es importante recalcar que en el tercer año de ejecución del proyecto en los cultivos de canavalia y gandul no hubo presencia de plagas ni de enfermedades. En el cultivo de maíz la presencia de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) fue mínima (5%) por lo que se aplicó 2 gr/planta de Volatón granulado, en forma localizada a los 32 días después de la siembra.

La Doble y Cosecha del maíz.

La cosecha del cultivo de maíz se realizó 150 días después de la siembra, el secado del maíz fue en campo.

Cosecha del rastrojo de gandul.

Se realizaron dos podas al cultivo de gandul, la primera a los 30 días después de sembrado el maíz con el propósito de evitar competencia por luz entre ambos cultivos; y la segunda a los 120 días después de la siembra de maíz. Se usó para esta actividad machete y tijera de podar. El rastrojo cosechado se pesó para determinar la cantidad de biomasa resultante. Se incluyó en el rastrojo: tallos principales, ramas, ramillas, hojas, flores y frutos. El material pesado se depositó sobre el suelo.

3.3. Variables a evaluar en los tres sistemas de cultivo.**Toma de datos en el cultivo de maíz.**

Los datos fueron tomados a los 150 días después de sembrado el maíz. Se contó el **número de plantas** en cada microparcela de 4m² y se determinó si existía variación en esta variable en los 3 sistemas evaluados.

Para la variable **peso de rastrojo**, la planta fue cortada a ras de suelo y posteriormente pesada; luego el material sobrante se dejó en el suelo (ver anexo 6). Para determinar el **rendimiento de grano** se cosecharon las mazorcas y se desgranaron, el grano fue pesado a humedad de campo; luego a un 12% de humedad (ver anexo 7).

Toma de datos de biomasa en el cultivo de gandul.

Se realizó a los 150 días después de sembrado; se seleccionaron 6 sitios de muestreo al azar y luego se procedió a podar las plantas a una altura de un metro, y el material recolectado se pesó: tallo principal, ramas, ramillas, hojas, flores y frutos, posteriormente todo el material fue distribuido en la parcela (ver anexo 8).

Toma de datos de biomasa en el cultivo de canavalia.

Se realizó a los 153 días después de la siembra se seleccionaron 6 sitios de muestreo al azar y en cada lugar se cosechó la planta a ras de suelo, luego se contó el número de guías, el número de vainas y al final se pesó todo el material, posteriormente se depositó en el suelo (ver anexo 9).

Muestreo del suelo para el análisis químico.

Se tomaron 5 submuestras en cada sistema evaluado, posteriormente se homogenizaron y tomó una muestra única que fue llevada al laboratorio del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Se determinó por parcela de cada sistema de cultivo los elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, pH y materia orgánica (ver anexo 10).

Evaluación financiera.

Para identificar los beneficios económicos de los sistemas evaluados se utilizó la técnica del presupuesto parcial mediante el cual se obtuvieron los costos y beneficios de cada sistema propuesto; para lo cual se calcularon los costos que varían por tratamiento, el rendimiento promedio por tratamiento, los beneficios brutos de campo para cada tratamiento y la diferencia entre los costos que varían y los beneficios brutos de campo y obtener los beneficios netos de campo. Como índice de eficiencia económica se utilizó la relación Beneficio / Costo, que permitió evaluar la cantidad de dinero que retorna por cada unidad monetaria invertida en cada uno de los tratamientos evaluados. Sin embargo, los indicadores de eficiencia económica como el Valor actualizado neto (VAN) y la Tasa interna de retorno (TIR) no se emplearon ya que su mayor utilidad se da en las situaciones en que se tiene que recurrir a fuentes de financiamiento externas y se realizan proyecciones de ingresos de rentabilidad futuros.

Aceptación de las tecnologías.

Se realizó una jornada demostrativa durante el desarrollo de la investigación, en la que participaron agricultores de las áreas aledañas a la Estación Experimental, quienes expusieron cuales son las ventajas y desventajas que presentan cada uno de los sistemas evaluados y cual de ellos les parece mejor; además participaron estudiantes de tercera año de la Facultad de Ciencia Agronómicas de la UES (ver anexo 11).

3.4. Metodología estadística.**Factor en estudio:**

El factor evaluado consistió en el efecto que ejercen los tres diferentes sistemas de cultivos en la recuperación del suelo, los cuales se describen en el cuadro 10.

Cuadro 10. Descripción de los sistemas en estudio.

| TRATAMIENTOS | DESCRIPCION | NOMENCLATURA |
|--------------|----------------------------|--------------|
| T1 | Sistema Maíz - gandul | (M - G) |
| T2 | Sistema Maíz - Canavalia | (M - C) |
| T3 | Sistema Maíz - Lombriabono | (M - L) |

3.4.1. Diseño estadístico.

El diseño estadístico utilizado para medir el efecto de los tres sistemas fue Bloques Completos al azar con seis repeticiones. Para cada sistema se instaló una parcela única que varió de tamaño; luego en cada una se delimitaron seis subparcelas de 4m² para la recolección de los datos; por lo tanto el diseño estadístico está fundamentado bajo el principio de Pseudos replicación. Además se aplicó la “Prueba de t de Student” para una muestra en las variables peso fresco de follaje de gandul, peso fresco de follaje de canavalia, número de vainas y número de guías por planta de canavalia y se realizó una comparación con datos bibliográficos reportados en otras investigaciones.

3.4.2. Modelo estadístico.

El modelo estadístico para el diseño antes descrito es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Respuesta experimental observada en cualquier unidad experimental

μ = Media del experimento.

T_i = Efecto de cualquier tratamiento i .

B_j = Efecto de cualquier bloque j .

E_{ij} = Error experimental en la celda (i, j) .

Las variables a cuantificar mediante el modelo del diseño estadístico seleccionado se presentan en la siguiente tabla de Análisis de Varianza (ANVA).

Cuadro 11. Análisis de Varianza para un diseño de bloques completos al azar.

| Fuentes de Variación | G.L. | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | "F" Observada |
|----------------------|------------|---|------------------------|-----------------------------|
| Bloques | b-1 | b $\sum_{j=1} Y^2. j / a - (Y_{..})^2 / b-1$ | S.C. Bloques / b -1 | C.M. Bloques / C.M.E. |
| Tratamiento | a-1 | a $\sum_{i=1} Y^2 i / b - (Y_{..})^2 / a-1$ | S.C. Tratam. / a -1 | C.M. Tratam./C.M.E. |
| Error Experimental | (a-1)(b-1) | S.C. TOTAL - S.C. Bloques + S.C. Tratam. | S.C.Err./ (a -1) (b-1) | - |
| TOTAL | ab-1 | $a \quad b$ $\sum_{i=1} \sum_{j=1} Y^2 ij - (Y_{..})^2 / ab$ | - | - |

3.4.3. Prueba de significancia estadística.

Se determino el coeficiente de variación utilizando la información de la tabla de ANVA de las variables estudiadas. Se utilizó un nivel de confianza del 5% de probabilidad. Para el análisis de los datos se utilizó el Programa estadístico MSTAT – C y el ayudante MST que es un programa de software usado para el análisis de investigaciones agrícolas experimentales, del Departamento de Agricultura Económica de la Universidad Estatal de Michigan. Fue editado y revisado por Ms. B. Bricker (1989-1990) y sus contribuyentes del departamento de maíz y ciencias del suelo, así como S. P. Eisensmith, D. Reicosky, V. W. Smail, P. Wolberg. y S. Goetz.

4. RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1. Resultados experimentales para el cultivo del maíz (año 2008).

Para evaluar los resultados del experimento se considero el Diseño de Bloques al azar y la Prueba de diferencia mínima significativa; para evaluar medias de tratamientos se uso la prueba de “t de student” para una muestra. Se utilizó el nivel de confianza del 5% de probabilidad.

Previo al análisis de los datos se evaluó el número de plantas por microparcela para determinar si esta diferencia afecta o no el rendimiento agronómico de las variables en estudio y así determinar el uso del Análisis de Covarianza. Además se han utilizado los principios básicos de la estadística descriptiva: cuadros estadísticos, figuras, C V, \bar{X} y σ .

La variación de los bloques sirvió para medir la variabilidad de las parcelas en cada bloque y se determinó estadísticamente que son iguales en términos de humedad, textura, etc.

4.1.1. Número promedio de plantas de maíz por parcela.

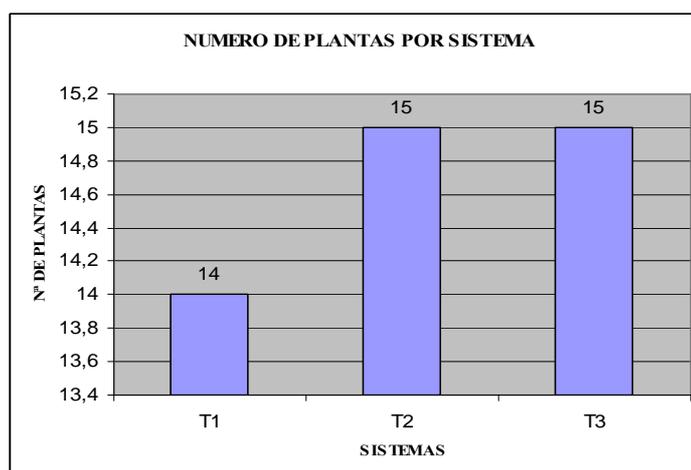
Según los resultados obtenidos en el cuadro 12 se muestran que el número de plantas por parcela de 4m² en los tres sistemas estudiados es igual. Lo cual fue importante ya que es un indicador que el número de plantas no afectó las variables de carácter agronómico; por lo tanto no fue necesario hacer ajustes por covarianza. El promedio de plantas para cada sistema estudiado fue de 15 plantas.

Cuadro 12. Análisis de varianza para número promedio de plantas de maíz por sistema/ parcela de 4m².

| Tratamiento (sistema) | Repeticiones | | | | | | Suma | Media | CV |
|--------------------------|--------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|----------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| T1 (M-G) | 15 | 16 | 13 | 13 | 14 | 12 | 83 | 13.83 | |
| T2 (M-C) | 16 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 89 | 14.83 | |
| T3 (M-L) | 14 | 16 | 13 | 17 | 16 | 14 | 90 | 15.00 | |
| ANVA | GL | SC | CMT | CME | Fcal | Ftab | α | | |
| (tratamientos) | 10 | 4.78 | 2.389 | 1.922 | 1.24ns | 4.10 | 0.05 | | 9.52% |

Según la prueba de Diferencia Mínima Significativa los sistemas M-G (T1), M-C (T2) y M-L (T3) presentaron el mismo número de plantas por parcela de 4m², que fue de 14 – 15 plantas por sistema.

Figura 1. Número promedio de plantas de maíz / parcela de 4m².



Cuadro13. Número promedio de plantas de maíz por sistema.

| Sistemas | Media (Nº plantas/4m ²) | Significación estadística |
|------------|-------------------------------------|---------------------------|
| T3 = M – L | 15.00 | a |
| T2 = M - C | 14.83 | a |
| T1 = M-G | 13.83 | a |

4.1.2. Peso del rastrojo de maíz en cada sistema de cultivo en libras (año 2008).

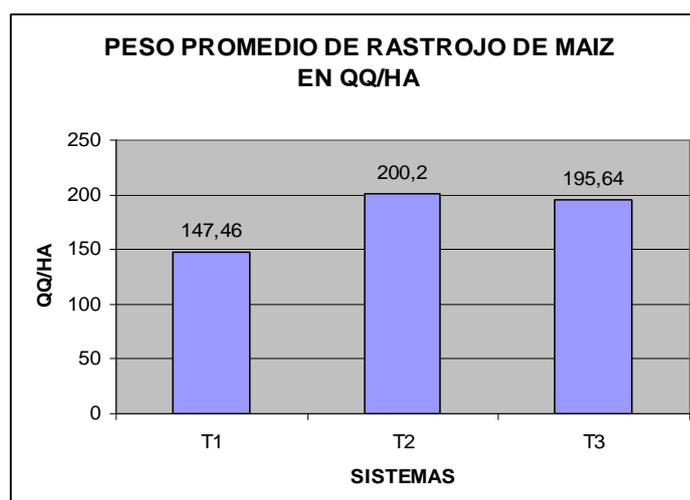
Los resultados para la variable peso de rastrojo de maíz, por parcela de 4m², demuestran que los sistemas M-G (T1), M-C (T2) y M-L (T3); produjeron diferentes cantidades de rastrojo de maíz, con un nivel de confianza del 5% de probabilidad.

Cuadro 14. Análisis de varianza para peso de rastrojo de maíz por sistema en libras.

| Tratamiento (sistema) | Repeticiones | | | | | | Suma | Media | CV |
|--------------------------|--------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|----------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| T1 (M-G) | 5.50 | 6.50 | 5.50 | 5.25 | 6.25 | 5.75 | 34.75 | 5.79 | |
| T2 (M-C) | 8.75 | 8.06 | 7.19 | 7.00 | 8.44 | 7.56 | 46 | 7.83 | |
| T3 (M-L) | 6.5 | 7.44 | 6.63 | 8.88 | 9.06 | 7.50 | 46.01 | 7.66 | |
| ANVA | GL | SC | CMT | CME | Fcal | Ftab | α | | |
| (tratamientos) | 10 | 15.44 | 7.718 | 0.589 | 13.11* | 4.10 | 0.05 | | 11.08% |

Según la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS), los sistemas M-C (T2) y M-L (T3); deposita al suelo igual cantidad de rastrojo 7.83 y 7.66lbs respectivamente; donde estos valores equivalen a 200.20 y 195.64 qq/ha, en cambio el sistema M-G (T1) es el que menos cantidad incorpora (5.79 lbs) lo que equivale a un 25% menos al promedio de los dos sistemas anteriores (147.46 qq/ha). (Ver cuadro 15 y figura 2).

Figura 2. Peso promedio de rastrojo de maíz por sistema en qq/ha.



Cuadro15. Peso promedio de rastrojo de maíz por sistema en qq/ha.

| Sistemas | Media (peso de rastrojo en qq/ha) | Significación estadística |
|------------|-----------------------------------|---------------------------|
| T2 = M - C | 147.46 | a |
| T3 = M - L | 200.20 | a |
| T1 = M - G | 195.64 | b |

4.1.3. Rendimiento de grano de maíz en cada sistema en libras.

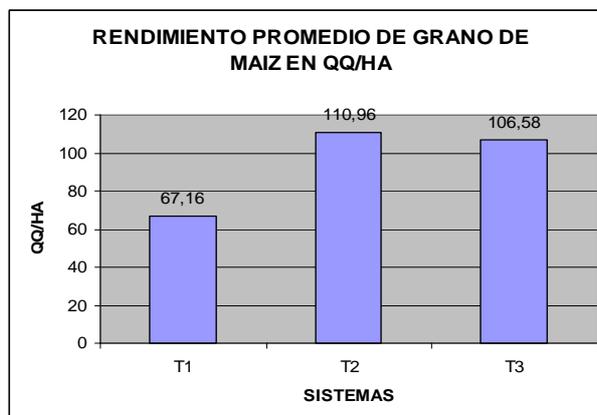
Al comparar los sistemas de cultivo podemos determinar que en relación al cultivo de maíz, la variable producción de grano el sistema de T2 (TM-C) fue superior al resto de los arreglos, reportando un porcentaje del 39% más que los sistemas T1 (M-G) y T3 (M-L).

Cuadro 16. Análisis de varianza para la variable rendimiento de grano de maíz.

| Tratamiento (sistema) | Repeticiones | | | | | | Suma | Media | CV |
|----------------------------|--------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|----------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| T1 | 2.5 | 3.13 | 2.13 | 2.38 | 2.81 | 2.88 | 15.83 | 2.64 | |
| T2 | 4.69 | 4.63 | 4.00 | 3.69 | 4.44 | 4.56 | 26.01 | 4.34 | |
| T3 | 4.88 | 4.06 | 3.06 | 4.38 | 4.50 | 4.44 | 25.32 | 4.22 | |
| ANVA (tratamientos) | GL | SC | CMT | CME | Fcal | Ftab | α | | |
| | 10 | 10.79 | 5.394 | 0.127 | 42.59* | 4.10 | 0.05 | | 7.00% |

Según la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS), los sistemas M-C (T2) y M-L (T3), produjeron iguales resultados en cuanto a rendimiento de grano de maíz (4.34 y 4.22 lbs) respectivamente; donde estos valores equivalen a 110.96 y 106.58 qq/ha; en cambio el sistema M-G (T1), es el que tiene el rendimiento mas bajo produciendo (2.64lbs) equivalente a 67.16 qq/ha, este resultado es un 30% menos al promedio de los sistemas anteriores. Dichos resultados se presentan en el cuadro 17 y figura 3.

Figura 3. Rendimiento de grano de maíz por sistema en qq/ha.



Cuadro 17. Rendimiento de grano de maíz por sistema en qq/ha.

| Sistemas | qq/ha | Significación estadística |
|----------|--------|---------------------------|
| T2=M-C | 110.96 | a |
| T3=M-L | 106.58 | a |
| T1=M-G | 67.16 | b |

4.2. Resultados experimentales para el cultivo de gandul.

4.2.1. Peso fresco promedio de follaje de gandul.

Los resultados obtenidos en la variable peso fresco de follaje de gandul se incluyó tallos y ramas que contienen ramillas, hojas, flores y frutos. El peso promedio por planta de 5.65 libras de follaje, equivalente a (1154.86 qq/ha). Este resultado fue significativo al 5% de probabilidad.

Cuadro 18. Datos de la prueba t student para la variable peso fresco de follaje de gandul por planta en qq/ha.

| ESTADISTICO | ESPECIFICACIONES |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Tamaño de muestra | n = 6 |
| Media muestral (m1) | X = 1154.86 qq/ha |
| Media poblacional (m2) | Ulrike (1997), 1022 qq/ha |
| Desviación típica | S = 0.84 |
| t calculado | 25.49 * |
| t tablas (5 g.l.) y $\alpha = 0.05$ | 2.57 |

Cuadro 19. Prueba de t de student para peso fresco de follaje verde de gandul por planta en libras.

| Peso fresco de follaje verde de gandul en libras. | Repeticiones | | | | | | Razones estadísticas | | |
|---|--------------|-----|-------|----------|---------|------|------------------------------|----------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | X | σ | CV |
| | 5.81 | 6.5 | 5.5 | 4.25 | 6.5 | 5.32 | 5.65 | 0.84 | 16.22% |
| Resultados de la prueba | n | X | μ | σ | T cal | | T tab, 5g.l. y $\alpha=0.05$ | | |
| | 6 | 791 | 700 | 0.84 | 25.49 * | | 2.57 | | |

4.3. Resultados experimentales para el cultivo de canavalia.

4.3.1. Número de guías por plantas de canavalia.

Los resultados que se obtuvieron con respecto a la variable número de guías por planta de canavalia determinaron un promedio de 16 a 17 guías por planta; al comparar estos datos con los obtenidos por Skerman (1991) que fueron de 15 ramificaciones o guías por planta. Se demostró mediante la prueba de t student que los resultados obtenidos en el sistema M-C (T2), superan los resultados obtenidos por Skerman (1991) en un 9%. Este resultado fue no significativo al 5% de probabilidad, es decir que el número de guías por planta es igual.

Cuadro 20. Datos de la prueba de t student para la variable número de guías por planta de canavalia.

| ESTADISTICO | ESPECIFICACIONES |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Tamaño de muestra | n = 6 |
| Media muestral (m1) | 16.5 unidades |
| Media poblacional (m2) | Skerman (1991), 15 unidades |
| Desviación típica | S = 4.13 |
| t calculado | 1.47 n.s. |
| t tablas (5 g.l.) y $\alpha = 0.05$ | 2.57 |

Cuadro 21. Prueba de t de student para número de guías por planta de canavalia.

| Promedio de número de guías por planta de canavalia. | Repeticiones | | | | | | Razones estadísticas | | |
|--|--------------|------|-------|----------|-----------|----|------------------------------|----------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | X | σ | CV |
| | 15 | 18 | 24 | 13 | 16 | 13 | 16.5 | 4.13 | 12.31% |
| Resultados de la prueba | n | X | μ | σ | T cal | | T tab, 5g.l. y $\alpha=0.05$ | | |
| | 6 | 16.5 | 15 | 4.13 | 1.47 n.s. | | 2.57 | | |

4.3.2. Promedio de número de vainas por planta de canavalia.

Según los resultado obtenidos en la variable número promedio de vainas por planta de canavalia, muestran un promedio de 9 vainas / planta. Al comparar estos resultados con los obtenidos por Skerman (1991) que fueron de 7 – 12 vainas / planta de canavalia. Se demuestra mediante la prueba de “t de student” que el número promedio de vainas obtenidas es igual a los datos presentados por Skerman (1991). Este resultado fue no significativo al 5% de probabilidad.

Cuadro 22. Datos de la prueba de t student para la variable número de vainas por planta de canavalia.

| ESTADISTICO | ESPECIFICACIONES |
|-------------------------------------|----------------------------|
| Tamaño de muestra | n = 6 |
| Media muestral (m1) | 9 unidades |
| Media poblacional (m2) | Skerman (1991), 7 unidades |
| Desviación típica | S = 1.75 |
| t calculado | 2.38 n.s. |
| t tablas (5 g.l.) y $\alpha = 0.05$ | 2.57 |

Cuadro23. Prueba de t de student para número de vainas por planta de canavalia.

| Promedio de número de vainas por planta de canavalia. | Repeticiones | | | | | | Razones estadísticas | | |
|---|--------------|------|-------|----------|-----------|---|------------------------------|----------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | X | σ | CV |
| | 10 | 11 | 8 | 8 | 6 | 9 | 8.66 | 1.75 | 15.27% |
| Resultados de la prueba | n | X | μ | σ | T cal | | T tab, 5g.l. y $\alpha=0.05$ | | |
| | 6 | 8.66 | 7 | 1.75 | 2.38 n.s. | | 2.57 | | |

4.3.3. Peso fresco promedio de follaje de canavalia.

Los resultados obtenidos en la variable peso fresco promedio de follaje de canavalia (incluyendo tallo, guías y vainas) muestran un promedio de 4.16lbs por planta, lo que equivale a 849.72 qq/ha comparados con los resultados obtenidos por Ulrike (1997) que fueron de 719.78 qq/ha. Se demostró mediante la prueba de “t de student” que el rendimiento de follaje de canavalia obtenido en la presente investigación supero los resultados obtenidos por Ulrike (1997) en un 15.23%, este resultado fue significativo al 5% de probabilidad; lo que demuestra que el aporte de follaje al suelo es bastante alto, aportando 849.72 qq/ha.

Cuadro 24. Datos de la prueba de t student para la variable peso promedio de follaje de canavalia en qq/ha.

| ESTADISTICO | ESPECIFICACIONES |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Tamaño de muestra | n = 6 |
| Media muestral (m1) | 719.78 qq/ha |
| Media poblacional (m2) | Ulrike (1997), 849.72 qq/ha |
| Desviación típica | S = 1.85 |
| t calculado | 16.99 * |
| t tablas (5 g.l.) y $\alpha = 0.05$ | 2.57 |

Cuadro 25. Prueba de t de student para peso fresco promedio de follaje de canavalia en libras.

| Peso fresco promedio de follaje de canavalia en libras. | Repeticiones | | | | | | Razones estadísticas | | |
|---|--------------|------|-------|----------|---------|------|------------------------------|----------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | X | σ | CV |
| | 3.25 | 4.69 | 7.56 | 4.19 | 2.44 | 2.88 | 4.16 | 1.85 | 44.47% |
| Resultados de la prueba | n | X | μ | σ | T cal | | T tab, 5g.l. y $\alpha=0.05$ | | |
| | 6 | 493 | 582 | 1.85 | 16.99 * | | 2.57 | | |

4.4. Análisis químico correspondiente a los tres años de investigación (2006 – 2008).

A continuación se presentan los análisis químicos que corresponden a los tres años de investigación del proyecto (2006 – 2008), en los cuales observamos el comportamiento que ha tenido el suelo, así como también la función que ha desempeñado el gandul, la canavalia y el lombriabono como principales fuentes de aporte de nutrientes al suelo.

4.4.1. Materia orgánica en % (M.O.)

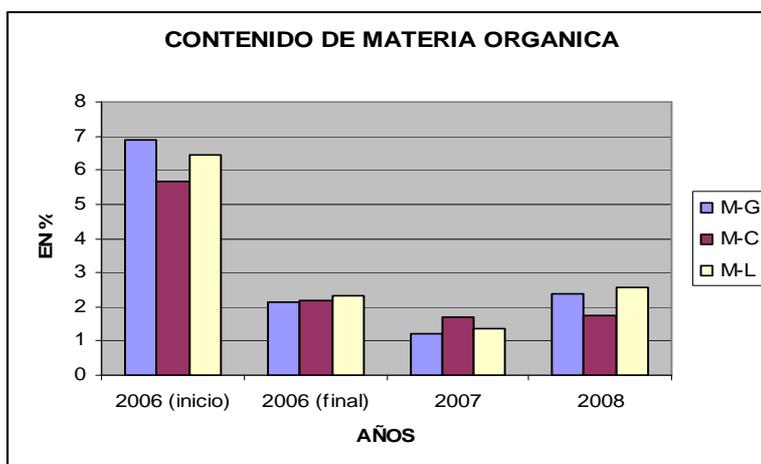
El siguiente cuadro muestra como el contenido de materia orgánica antes de iniciar el experimento en el inicio del año 2006 presentó niveles que se mantuvieron entre los rangos de 5.65% y 6.89% en los sistemas evaluados, por lo que son considerados contenidos altos de materia orgánica (>4%), según se establece en el manual de métodos de análisis de suelos (MMAS) del CENTA (1993), pero el comportamiento en los siguientes años (2006-2008) se reportan niveles máximos de 2.31% y mínimos de 1.22% correspondientes al contenido de materia orgánica del suelo, por lo que establece que son niveles medios y bajos (>2%) de materia orgánica en el suelo.

Cuadro 26. Contenido de materia orgánica (%) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz período 2006 – 2008.

| Localidad | Sistemas de cultivo | Años | | | |
|------------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|--------|--------|
| | | 2006 (Inicio ciclo agrícola) | 2006 (Final ciclo agrícola) | 2007 | 2008 |
| San Luis Talpa, La Paz | M-G | 6.89 A | 2.12 M | 1.22 B | 2.40 M |
| | M-C | 5.65 A | 2.16 M | 1.69 B | 1.76 B |
| | M-L | 6.45 A | 2.31 M | 1.34 B | 2.56 M |

Especificaciones: <2% = Bajo; 2-4%= Medio; >4%= Alto; según Centro de Tecnología Agrícola (1993).

Figura 4. Contenido de Materia Orgánica (%) en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008.



4.4.2. Acidez del suelo (pH).

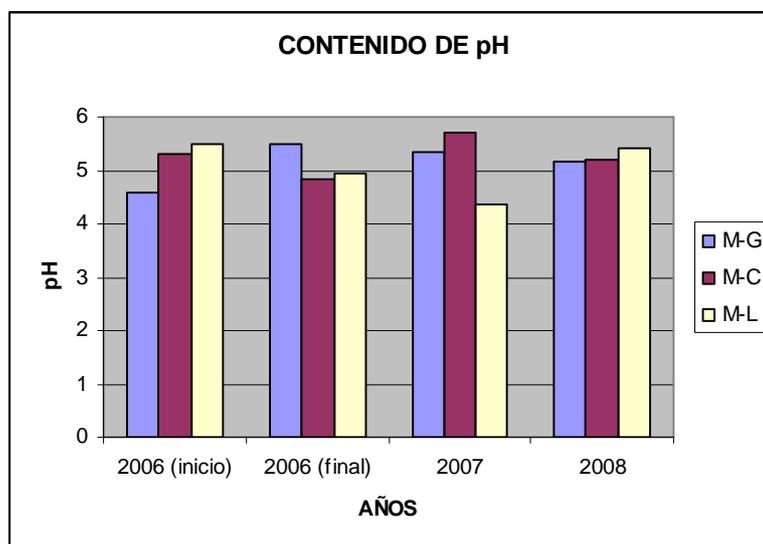
El comportamiento del pH del suelo para el sistema (M-G) en su fase inicial (2006) se clasificó como fuertemente ácido (FA) siendo de 4.60; para el período 2006 – 2008 este reportó un cambio en su contenido de pH cuyos rangos fueron entre el 5.18 y 5.50 clasificándose como suelos con un pH moderadamente ácidos (MA); para los sistemas (M-C) y (M-L) se tuvieron valores de 5.32 y 5.50 respectivamente clasificándose como moderadamente ácidos (MA), en el caso del sistema de M-C el comportamiento se mantiene en un rango de moderadamente ácido (MA) durante el período 2006 – 2008; pero en el caso del sistema M-L el rango de acidez desciende a fuertemente ácido (FA) para los años 2006-2007 con valores de 4.35 y 4.93 respectivamente y vuelve a estabilizarse para el año 2008 a un suelo moderadamente ácido (MA) con un contenido de pH de 5.43.

Cuadro 27. Contenido de pH en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008.

| Localidad | Sistemas de cultivo | Años | | | |
|------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------|---------|
| | | 2006 (Inicio/ciclo agrícola) | 2006 (final/ciclo agrícola) | 2007 | 2008 |
| San Luis Talpa, La Paz | M-G | 4.60 FA | 5.50 MA | 5.33 MA | 5.18 MA |
| | M-C | 5.32 MA | 4.83 FA | 5.70 MA | 5.21 MA |
| | M-L | 5.50 MA | 4.93 FA | 4.35 FA | 5.43 MA |

Especificaciones: 4.1 a 4.9 = Fuertemente ácido; 5.0 a 5.5= Moderadamente ácido

Figura 5. Contenido de pH en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008.



4.4.3. Nitrógeno (N) en ppm.

En relación a la disponibilidad del nitrógeno se reportó que el contenido de este elemento para el inicio del año 2006 en los tres sistemas evaluados se mantuvo =35 y >35ppm, sin embargo para los años 2006 y 2008, el contenido de nitrógeno se reportó como <35ppm, lo que indica que son contenidos bajos de nitrógeno disponibles en el suelo, según el manual de métodos de análisis de suelos (MMAS) del CENTA (1993) para el año 2007 no se reportó el contenido de este elemento en el suelo.

Cuadro 28. Contenido de Nitrógeno (ppm) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008.

| Localidad | Sistemas de cultivo | Años | | |
|------------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|------|
| | | 2006 (inicio ciclo agrícola) | 2006 (final ciclo agrícola) | 2008 |
| San Luis Talpa, La Paz | M-G | >35 | <35 | 23 |
| | M-C | >35 | =35 | 26 |
| | M-L | =35 | <35 | 23 |

Especificaciones: <35= Bajo; >35= Alto.

4.4.4. Potasio (K), en ppm.

Los niveles de Potasio que presentaron los tres sistemas evaluados fueron de 89ppm hasta 125ppm según los resultados obtenidos en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, lo que indica que estos niveles son contenidos altos de Potasio en el suelo (60-200ppm), según el manual de métodos de análisis de suelos del CENTA (1993), solamente para el año 2006 se reportó este elemento mineral.

Cuadro 29. Contenido de Potasio (ppm) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008.

| Localidades | Sistemas de cultivo | Años |
|---------------------------|---------------------|-------------------------------|
| | | 2006 (Final / ciclo agrícola) |
| San Luis Talpa, La Paz | M-G | 108 |
| | M-C | 125 |
| | M-L | 89 |

Especificaciones: 0-59= Bajo; 60-200= Alto; >200= Muy Alto.

4.4.5. Fósforo (P), en ppm.

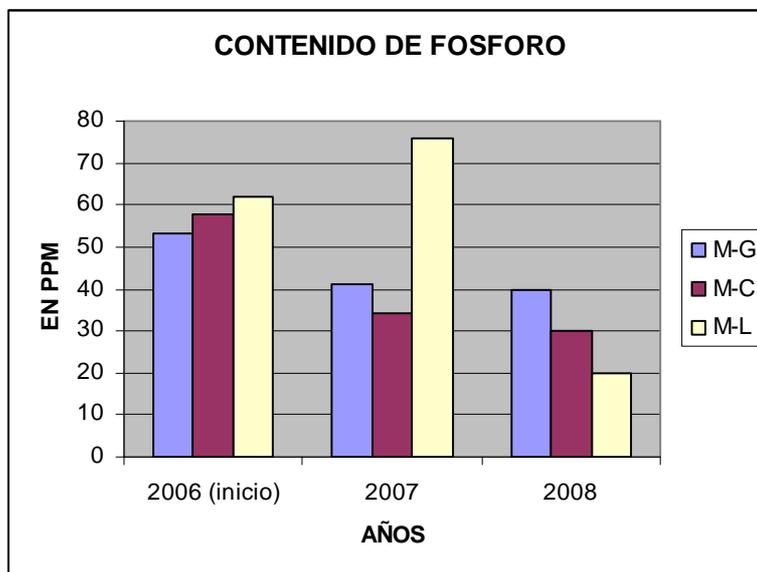
Al relacionar el contenido de fósforo del suelo, en la fase inicial, se observó que este es muy alto (MA) en los tres sistemas evaluados; su comportamiento en los siguientes años fue de forma descendente pero manteniéndose siempre en el rango de Muy Alto(>30ppm) y únicamente se observó en el caso del sistema M-L una disminución a 20ppm, ubicándose como un contenido Alto de fósforo en el suelo.

Cuadro 30. Contenido de Fósforo (ppm) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008

| Localidad | Sistemas de cultivo | Años | | |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|-------|-------|
| | | 2006 (Inicio / ciclo agrícola) | 2007 | 2008 |
| San Luís Talpa, La Paz | M-G | 53.2 MA | 41 MA | 40 MA |
| | M-C | 57.75 MA | 34 MA | 30 MA |
| | M-L | 61.95 MA | 76 MA | 20 A |

Especificaciones: B= bajo (9 – 12 ppm); A= alto (13 – 30 ppm); MB= muy bajo (0 – 8 ppm); MA= muy alto (> 30ppm)

Figura 6. Contenido de Fósforo en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008.



4.4.6. Calcio (Ca), meq en 100 gr. de suelo.

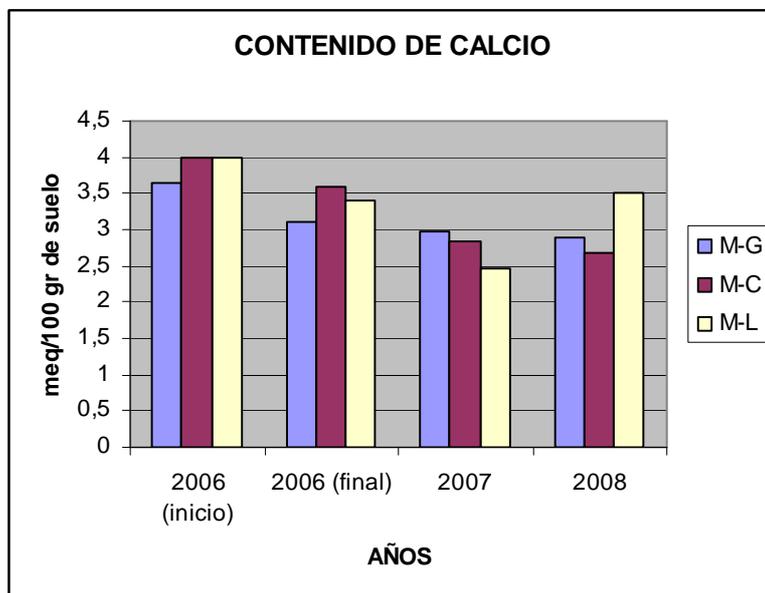
Los contenidos de calcio en el suelo en la fase inicial del proyecto (año 2006) en los tres sistemas evaluados fueron de 3.63 -4.00 meq/100 gramos de suelo; lo que indica que es un contenido bajo de calcio, según el manual de métodos de análisis de suelos del CENTA (1993), para los años 2007-2008 se reportan niveles mínimos 2.67meq/100gr de suelo y máximos de 3.51meq/100gr de suelo, en los tres sistemas evaluados, por lo que también son considerados niveles bajos de calcio en el suelo. Se observó este comportamiento desde la fase inicial del proyecto hasta la fase final pero siempre se mantuvo esta tendencia en un rango bajo.

Cuadro 31. Contenido de Calcio (meq/100gr) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008

| Localidades | Sistemas de cultivo | Años | | | |
|---------------------------|---------------------|---|---------------------------------------|--------|-----------------|
| | | 2006 (Inicio / ciclo agrícola) | 2006 Final / ciclo agrícola) | 2007 | 2008 (Final) |
| San Luis Talpa, La Paz | M-G | 3.63 B | 3.12 B | 2.97 B | 2.90 B |
| | M-C | 4.00 B | 3.58 B | 2.83 B | 2.67 B |
| | M-L | 4.00 B | 3.41 B | 2.46 B | 3.51 B |

Especificaciones: MB= muy bajo (0 -2.2); B=bajo (2.3 – 4.0 meq/100 gr.); A= alto (4.1-36); MA= muy alto (> 36 meq/100 gr).

Figura 7. Contenido de Calcio (meq/100gr) en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008.



4.4.7. Magnesio (Mg), en meq / 100 gr. de suelo.

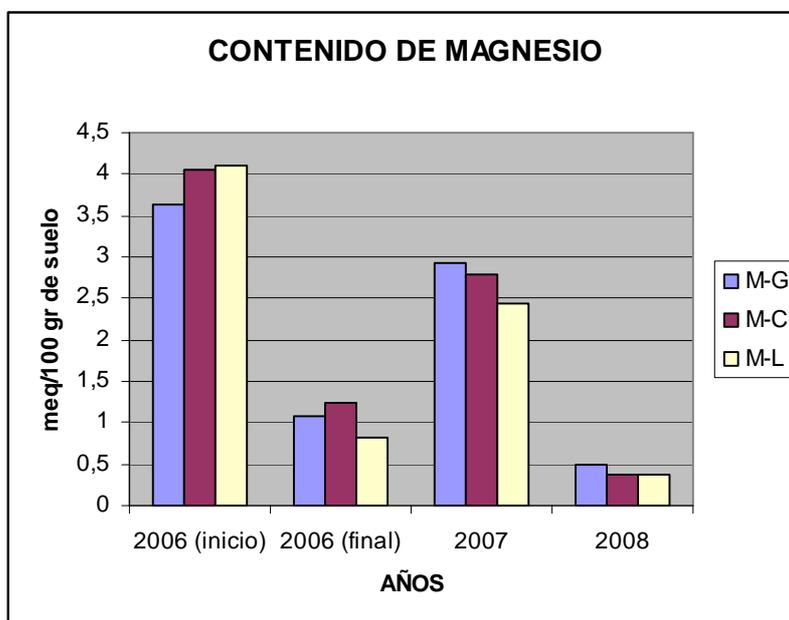
En el siguiente cuadro se observó que el contenido de Magnesio presente en el suelo para el año de inicio del experimento (2006) es alto en los tres sistemas evaluados con niveles de 4.10 y 3.63 meq/100gr de suelo; pero al finalizar el ciclo agrícola para este año el contenido de este elemento a bajo (0.83 – 1.07); en donde los valores son bajos según las Normas del Manual de Métodos de Análisis de Suelos del CENTA (1993); para los años 2006 y 2008 se reportaron contenidos de magnesio que fueron para el caso del sistema M-G de 1.07-0.50 meq/100gr de suelo, M-C 1.25-0.37 meq/100gr de suelo y M-L 0.83-.38 meq/100gr de suelo, por lo tanto estos niveles se reportan como contenidos bajos a muy bajos de magnesio en el suelo.

Cuadro 32. Contenido de Magnesio (meq/100gr) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008

| Localidades | Sistemas de cultivo | Años | | | |
|------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|---------|
| | | 2006 (Inicio/ ciclo agrícola) | 2006 (Final / ciclo agrícola) | 2007 | 2008 |
| San Luis Talpa, La Paz | M-G | 3.63 A | 1.07 B | 2.93 A | 0.50 MB |
| | M-C | 4.05 A | 1.25 B | 2.79 A | 0.37 MB |
| | M-L | 4.10 A | 0.83 B | 2.43 A | 0.38 MB |

Especificaciones: MB= muy bajo (0- 0.8); B=bajo (0.9 – 2.0 meq/100 gr.); A= alto (2.1-18); MA= muy alto (> 18 meq/100 gr.)

Figura 8. Contenido de Magnesio (meq/100gr) en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008.



4.4.8. Aluminio (Al), en meq / 100 gr. de suelo.

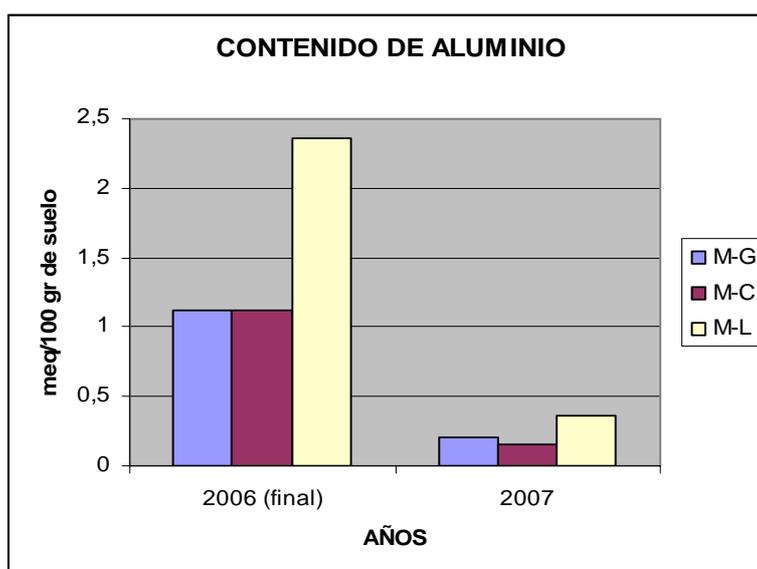
Este elemento se evaluó únicamente durante los períodos 2006 - 2007 y se observa en el siguiente cuadro que el contenido de este elemento durante el primer año es alto, pues sus valores se encuentran entre 1.12 y 2.36meq/100gr de suelo; en el año 2007 los resultados en la cantidad de este elemento fueron de 0.15 y 0.36meq/100gr de suelo, por lo tanto son reportados como niveles bajos de aluminio en el suelo según el manual de métodos de análisis de suelos del CENTA (1993).

Cuadro 33. Contenido de Aluminio (meq/100gr) en el suelo, en tres sistemas de cultivo (M-G, M-C y M-L), en la localidad e San Luis Talpa, La Paz; período 2006 – 2008

| Localidad | Sistemas de cultivo | Años | |
|---------------------------|---------------------|------------------------------|--------|
| | | 2006 (Final /ciclo agrícola) | 2007 |
| San Luis Talpa, La Paz | M-G | 1.12 A | 0.20 B |
| | M-C | 1.12 A | 0.15 B |
| | M-L | 2.36 A | 0.36 B |

Especificaciones: < 0.5 = bajo; De 0.51 a 1.0= medio; > de 1.0= alto.

Figura 9. Contenido de Aluminio (meq/100gr) en el suelo, en los tres sistemas de cultivo, durante los períodos 2006-2008.



4.5. Análisis nematológico y microbiológico del suelo, en el periodo 2006-2008.

4.5.1. Análisis nematológico.

Los resultados reportados en el año 2006 (fase inicial del proyecto) demuestran la presencia de algunos géneros de nematodos para los tres sistemas evaluados tales como *Tylenchorrhinchus sp*, *Pratylenchus sp*, *Trichodorus sp*, *Aphelenchus sp* y *Dorylaimus sp*. Los análisis presentados para el año 2008 (fase final del proyecto) reportan que en el sistema M-G se tiene la presencia del genero *Helicotylenchus sp* en cantidades de 32n / 250 gr de suelo. En relación al sistema M-C los géneros reportados después de tres años (2008) son diferentes a los encontrados en el año 2006. El género que se encontró y se mantiene durante este periodo es el *Tylenchorrhinchus sp* a razón de 16n / 250 gr de suelo, disminuyendo en 56n / 250 gr de suelo según los reportes del año 2006, además se reportaron otros géneros diferentes como *Helicotylenchus sp*, *Criconemoides sp*, *Meloidogyne sp* y *Rhabditis* (Bacteriófago).

En el sistema M-L hubo dos géneros que se presentaron después de tres años de la aplicación de lombricompost, pero en cantidades mas bajas a las reportadas al inicio de la investigación; estos son: *Tylenchorrhinchus sp*. (32 nematodos) y *Pratylenchus* (16 nematodos), además de otros géneros como *Helicotylenchus sp*, *Criconemoides sp*, *Meloidogyne sp*

Cuadro 34. Resultados de los análisis nematologico en la fase inicial de la investigación (año 2006).

| FASE INICIAL (AÑO 2006). | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| NEMATODOS ENCONTRADOS | POBLACION EN 250 GR DE SUELO |
| <i>Tylenchorrhinchus sp.</i> | 72n/250 gr de suelo |
| <i>Pratylenchus sp.</i> | 8n/250 gr de suelo |
| <i>Trichodorus sp.</i> | 8n/250 gr de suelo |
| <i>Aphelenchus sp.</i> | 16n/250 gr de suelo |
| <i>Dorylaimus sp.</i> | 16n/250 gr de suelo |

Cuadro 35. Resultados de los análisis nematológico en la fase final de la investigación (año 2008).

| FASE FINAL (AÑO 2008). | | |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| SISTEMAS | NEMATODOS ENCONTRADOS | POBLACION EN 250 GR DE SUELO |
| T1 (M-G) | <i>Helicotylenchus</i> | 32 |
| T2 (M-C) | <i>Tylenchorrhinchus sp.</i> | 16 |
| | <i>Helicotylenchus sp.</i> | 8 |
| | <i>Criconemoides sp.</i> | 16 |
| | <i>Meloidogyne sp.</i> | 16 |
| | <i>Rhabditis(Bacteriófago)</i> | 16 |
| T3 (M-L) | <i>Tylenchorrhinchus sp.</i> | 32 |
| | <i>Pratylenchus sp.</i> | 16 |
| | <i>Meloidogyne sp.</i> | 16 |
| | <i>Criconemoides sp.</i> | 8 |
| | <i>Helicotylenchus sp.</i> | 8 |

4.5.2. Análisis microbiológico del suelo (Hongos y bacterias).

Los análisis microbiológicos fueron para el año de inicio de la investigación 2006, reportando la presencia de hongos del genero *Rhizopus sp* y *Aspergillus sp*; y en el caso de las bacterias se reportó el genero *Bacillus subtilis*. Se observó un aumento en la presencia de microorganismos en la fase final de la investigación (año 2008).

Cuadro 36. Resultados del análisis microbiológico en el año 2006.

| FASE INICIAL (AÑO 2006) | | |
|------------------------------------|---|--------------------------|
| MICROORGANISMOS ENCONTRADOS | HONGOS | BACTERIAS |
| GENEROS | <i>Rhizopus sp.</i> <i>Aspergillus sp.</i> | <i>Bacillus subtilis</i> |

Cuadro 37. Resultados del análisis microbiológico en el año 2008

| Sistemas de cultivo | Patógenos encontrados (hongos y bacterias). |
|----------------------------|--|
| T1 (M – G) | Penicillium sp. |
| | Trichoderma sp. |
| T2 (M – C) | Penicillium sp. |
| | Fusarium sp. |
| T3 (M –L) | Esclerotium sp. |
| | Rhizobium sp. |
| | Aspergillus sp. |
| | Trichoderma sp. |

4.6. Evaluación de los sistemas propuestos por parte de los agricultores.

Para determinar el grado de aceptación de la tecnología propuesta se llevo a cabo un día de campo en el cual los agricultores pudieron expresar su punto de vista acerca de los sistemas evaluados y coincidieron en que el mejor sistema propuesto fue el de Maíz - Gandul, ya que el cultivo de gandul se puede sembrar en terrenos áridos en donde el cultivo del maíz y de otros cultivos no son tan prósperos. Del mismo modo se manifestó la ventaja de la modalidad de cultivo que puede ser en asocio y en monocultivo, esta última modalidad es mejor debido a que aporta mas hojarasca al suelo; por lo tanto aporta mas nutrientes, considerando la profundidad que alcanza la raíz del gandul que contribuye a la infiltración del agua. Otra ventaja identificada por los agricultores fue la característica de rápida regeneración que tiene el gandul, ya que esta se puede podar a una altura de 80 cm y este vuelve a producir follaje y da la oportunidad de asociarlo con maíz.

Entre otras ventajas expuestas se tienen la reducción de abono químico y de insecticidas y herbicidas. En el caso del asocio de Maíz - Canavalia, se identificaron ventajas tales como: la cantidad de nitrógeno presente en la raíz disminuye el costo de los insumos al reducir la compra de abonos. Les gusto mucho la abundante cobertura que forma lo que evita el crecimiento de plantas arvenses, protege el suelo, y esto conlleva a una disminución de la mano de obra utilizada para esta labor.

Una de las principales desventajas identificadas por los agricultores es que la planta de canavalia se enreda en las plantas de maíz cuando estas están dobladas y las botan, lo que implica pérdida en la cosecha de maíz.

En cuanto al asocio de Maíz - Lombriabono, los principales efectos benéficos identificados son la mejora en la estructura de los suelos y un aumento en el rendimiento del grano mediante el aporte de nutrientes (N, P, K y microelementos) a la planta, otro beneficio de este sistema es la reducción de aplicaciones de herbicidas y plaguicidas; además identificaron que este producto puede ser elaborados por el productor, reduciendo así la compra de los sacos de fertilizantes químicos y la reducción en el uso de plaguicidas.

4.7. Análisis económico.

Para determinar los beneficios económicos de cada uno de los tratamientos en estudio se utilizó el método propuesto por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) el cual se fundamenta en un análisis de presupuesto parcial, análisis de dominancia y Tasa de Retorno Marginal (TIR). El presupuesto parcial considera 3 parámetros importantes que son: los beneficios brutos en los cuales se considera lo que es el rendimiento por manzana del cultivo cosechado por el precio de campo, en este caso el precio del quintal de maíz a nivel de campo es de \$15.

Los costos variables, consideran la suma de todos los costos en las que el agricultor incurre para manejar su parcela, incluye lo que es costo de mano de obra de los cultivos asociados y los insumos, que pueden ser la compra de la semilla de gandul y canavalia, los gastos en mano de obra para la siembra o la poda en el caso del gandul y la recolección de rastrojos o desechos para la preparación del lombriabono.

Los beneficios netos, consisten en la diferencia que resultara de la resta de los beneficios brutos menos el total de los costos variables. En el cuadro 38 se presentan para cada sistema de cultivo los gastos incurridos para cada parcela.

Cuadro 38. Presupuesto parcial por hectárea de los diferentes tratamientos.

| Concepto | M-G (T1) | M-C (T2) | M-L (T3) |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| Rendimiento de grano de maíz (qq/ha) | 60 | 100 | 96 |
| Precio de venta de maíz en (\$)/qq | 15 | 15 | 15 |
| Beneficios brutos de campo (\$) | 900 | 1500 | 1440 |
| Costos variables | | | |
| Mano de obra | 321 | 280 | 274 |
| Insumos (\$), fertilizantes y venenos. | 364 | 447 | 439 |
| Total de costos variables (\$) | 685 | 727 | 713 |
| Beneficios netos totales (\$) | 215 | 773 | 727 |

Mediante el análisis del presupuesto parcial calculamos el total de los costos que varían y los beneficios netos de cada tratamiento, y se observa que el tratamiento M-C (T2) es el que presenta los mayores costos variables que son \$727.00 y sin embargo también presentó los mayores beneficios netos con \$773.00.

Le sigue el tratamiento M-L (T3) en el cual se incurrió en costos de \$713.00, muy similar al tratamiento M-C (T2); y con un beneficio neto de \$727.00, en cuanto al tratamiento M-G (T1) los costos variables son menores que los otros tratamientos con \$685.00 y de la misma forma sus beneficios se reducen a \$215.00. Es importante mencionar que los costos de los tratamientos evaluados se han incrementado debido a los altos precios de los fertilizantes en el mercado.

4.7.1. Relación Beneficio / Costo (B/C).

Este índice indica el retorno en dinero obtenido por cada unidad monetaria invertida y su interpretación indica el ingreso neto que se obtiene por cada dólar invertido en los cultivos.

Cuadro 39. Relación beneficio costo de los diferentes tratamientos.

| Tratamiento | Beneficio bruto (\$) | Costo variable (\$) | Relación B/C | Utilidad |
|-------------|-------------------------|------------------------|--------------|----------|
| T1= M-G | 900 | 685 | 1.31 | 0.31 |
| T2= M-C | 1500 | 727 | 2.06 | 1.06 |
| T3= M-L | 1440 | 713 | 2.01 | 1.01 |

Según la relación Beneficio /Costo que se obtuvieron, se observa que la inversión realizada se puede recuperar, así tenemos que el tratamiento M-C (T2) tiene la mayor relación B/C y es de \$2.06, esto indica que por cada \$1 invertido se recupera \$1 mas \$1.06 de utilidad por lo tanto este asocio a pesar de tener los costos mas elevados posee el mayor índice de utilidad. El tratamiento M-L (T3) tiene una relación B/C de \$2.01 lo que indica que por cada \$1 recuperado se genera una utilidad de \$1.01. El tratamiento M-G (T1) es el que tiene la relación B/C mas baja que es de \$1.31, lo que indica que por cada \$1 invertido se recupera \$0.31ctvs de utilidad.

4.8. Discusión de resultados relacionados al cultivo de maíz.

Número promedio de plantas de maíz en 4 mt².

Al comparar los sistemas de cultivos se puede determinar que en relación al cultivo de maíz la variable número promedio de plantas de maíz por parcela se reportó que el efecto de sitio (bloques) y de tratamientos no influyo significativamente en la densidad de plantas de maíz por sistema, reportando un promedio de 15 plantas por parcela de 4m² (38,325 plantas/ha). Del mismo modo la prueba de Diferencia Mínima Significativa, establece que en los sistemas evaluados el número de plantas fue igual. Estos resultados concuerdan por los mencionados por Gispert C. (2001), que manifiesta que las densidades de las plantaciones de maíz van a depender de las condiciones de clima, tipo de suelo, técnicas de cultivo, variedades de maíz y las fechas en que se siembre el cultivo. Estudios realizados por Quiroz et. al. (1998), determinó que las densidades de las plantaciones de maíz oscilan entre las 29,200 y 43,800 plantas/ha, siempre y cuando se tenga un manejo adecuado del cultivo, buenas condiciones en las características físicas y químicas de los suelos, que sean apropiadas a cada variedad, además de la tolerancia a diversas condiciones agroecológicas; Parsons D. (2001) menciona que el maíz exige un clima relativamente cálido y agua en cantidades adecuadas, así como también de suelos profundos y fértiles para una adecuada densidad poblacional del cultivo. Según Gispert C. (2001), afirma que cuando se realiza un buen manejo de la plantación y las condiciones agrológicas adecuadas las densidades en las poblaciones de plantas pueden ser de 33,580 a 36,500 plantas/ha y en cuanto mas limitantes sean estas condiciones menos densas deberán ser las plantaciones. Los cultivos con una disposición más erecta de las hojas son especialmente adecuados para las parcelas en las que se pretenda cultivar un número elevado de plantas, ya que se aprovecha mejor el espacio.

Peso promedio de rastrojos de maíz por parcela de 4 mt².

Los resultados obtenidos para el cultivo de maíz en cuanto a la variable peso de rastrojo de maíz por parcela de 4m², demostraron diferentes comportamientos en los sistema evaluado con un nivel de confianza del 5%; la prueba de Diferencia Mínima Significativa reporto que el tratamiento T2 (M-C) es el que mayor cantidad de rastrojo de maíz incorpora al suelo con una cantidad de 7.83 libras/parcela de 4m² equivalente a 200.02 qq/ha, siendo superior a T1 (M-G) que aporto 5.79 libras/parcela de 4m² equivalente a 147.46 qq/ha. Pero T2 (M-C) se

comporto de la misma forma que T3 (M-L) que incorporo al suelo 7.66 libras/parcela de 4m² que corresponde a 195.64 qq/ha.

Garcia C. (2004), menciona que el cultivo de maíz produce una gran cantidad de biomasa de la cual se cosecha el 50% en forma de grano, el resto corresponde a diversas estructuras de la planta como tallos, hojas y mazorcas. Los tallos poseen las estructuras mas lignificadas por lo que se hace necesario picarlas para mejorar la tasa de descomposición en los suelos. Quiroz A. et. al. (1998), reporto que la acumulación final de materia seca total por metro cuadrado es de 3.3 libras/m² equivalente a 337.26 qq/ha, de rastrojo de maíz incorporado al suelo, resultados que fueron superiores en un 40.69% con respecto al tratamiento T2 (M-C), el cual apporto la mayor cantidad de maíz al suelo en comparación con los otros sistemas.

De igual forma García C. (2010), menciona que la producción de biomasa residual seca que genera el cultivo de maíz puede ser de 16 toneladas/hectárea, equivalente a 319.74 qq/ha. Estas cantidades de incorporación de rastrojo pueden verse sujetas a variaciones dependiendo del tipo de cultivo, condiciones climáticas y edáficas propias de cada lugar. Marín D. et. al. (1988) reporto una producción de rastrojo de maíz incorporado al suelo que fue de 109.50 qq/ha; y Vilanova citado por Duarte et. al. (2003), menciono que en el cultivo de maíz el período de crecimiento vegetativo debe ser tan corto como sea posible, en tanto permita el desarrollo del área foliar necesaria para mantener una alta tasa de producción de peso seco después de la antesis.

Rendimiento de grano de maíz por parcela de 4mt².

En relación a la variable rendimiento de grano de maíz por tratamiento, se demuestra que el tratamiento T2 (M-C) obtuvo 4.34 libras/parcela de 4m², lo que representa 110.88 qq/ha, siendo superior al tratamiento T1 (M-G), siendo sus resultados de 2.64 libras/parcela de 4m², que es equivalente a 67.45 qq/ha; pero el tratamiento T2 (M-C) se comporto de la misma forma que el tratamiento T3 (M-L) obteniéndose 4.22 libras/parcela de 4m², que representa 107.82 qq/ha. El análisis realizado mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa establece que T2 (M-C) obtuvo los mejores rendimientos de grano de maíz en relación al T1 (M-G), superándolo en un 39.17%; pero con un comportamiento igual a T3 (M-L) reportando una variación únicamente del 2.76%. De la misma forma se determinó que el tratamiento T3 (M-L) fue superior al T1 (M-G) en un 37.44%.

Lo anterior demuestra que el sistema asociado de M-C y M-L producen muy buenos rendimientos de grano a nivel de campo. Este incremento en el rendimiento del cultivo de maíz menciona García C. et al. (1999), se tendría que reponer al suelo los nutrientes que aprovechó el cultivo anterior, mediante el uso e incorporación de cultivos de cobertura o abonos orgánicos de origen animal (lombricompost) para lograr una adecuada nutrición del cultivo del siguiente año. Larios L. (1996) dice que la siembra intercalada de leguminosas reduce el rendimiento de maíz, sin embargo este es solo el primer ciclo de evaluación y los resultados son por lo tanto parciales, los resultados que se obtienen en los próximos ciclos agrícolas permitirán ver los efectos sobre el control de la erosión y la retención de humedad del suelo, principalmente como ventajas a largo plazo, así como también el incremento de los rendimientos del cultivo de maíz. Por lo tanto tenemos que en el tercer año de realizada la investigación (2008) el rendimiento de grano de maíz se incremento en un 53% mas que la producción promedio registrada en la zona (51.10 qq/ha), usando únicamente el 25% de abono químico, lo demás fue aportado por las leguminosas y el lombriabono. Contreras E. et al. (1998); reporto que el cultivo de maíz asociado a canavalia incremento de 55.48 qq/ha a 87.60 qq/ha, aunque manifestó que se tiene que identificar la época para asociar la leguminosa para que no se convierta en competencia para el maíz. García C. et al. (1999), afirma que la utilización debe ser realizada correctamente para evitar que la planta destinada como cultivo de cobertura compita con el cultivo de maíz. En este caso el cultivo de cobertura se siembra cuando el maíz ya esta establecido y se incorpora cuando se realiza la cosecha.

Artigas G. J. (1988), manifiesta que el abono orgánico (lombricompost) mejora el aumento de las cosechas en comparación con aquellas provenientes de la fertilización química. Así mismo se reportaron producciones de hasta 73 qq/ha en las zonas tropicales.

4.9. Discusión de resultados relacionados al cultivo de gandul.

En relación al cultivo de gandul, al referirse al peso fresco promedio por planta y de acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que el promedio de follaje incluyendo hojas, ramillas, tallos, frutos y flores por microparcela muestreada mediante la prueba de "t de student", reportó un 5.65 libras de follaje/ parcela de 4m², lo que equivale a 1154.86 qq/ha, con un nivel de significancia del 5%. Estos resultados concuerdan con las investigaciones reportadas por Ulrike B. (1998), en donde menciona que el cultivo de gandul es un buen

abono orgánico ya que aporta al suelo de 1022 – 1168 qq/ha de materia verde. Quiroz A. et. al. (1998), menciona que el asocio del gandul con maíz puede experimentar de alguna forma la competencia entre las plantas, pudiendo alterar de alguna forma los ciclos fonológicos como la emergencia de botones florales y la producción de legumbres o mazorcas de los cultivos asociados, así como también la producción de biomasa del gandul. Ulrike B. (1997), afirma que el potencial del material verde de gandul es moderado y se pueden hacer hasta 3 cortes por año, dependiendo de las condiciones agroecológicas del cultivo; menciona además que para realizar un buen manejo de este cultivo como abono verde puede dejarse crecer hasta los 125cm. de altura y realizar los cortes hasta los 80cm. de la superficie del suelo. Bajo estas condiciones se pueden obtener hasta tres cortes al año con un rendimiento promedio de 343 - 452 qq/ha, esta característica que posee el gandul de generar una gran cantidad de material vegetal, favorece la mejora del suelo por sus aporte de materia orgánica.

4.10. Discusión de resultados relacionados al cultivo de canavalia.

Número de guías promedio por planta de canavalia.

En cuanto a la variable número de guías por planta de canavalia, se tiene que los resultados obtenidos mediante la prueba de “t de student” se refleja que el promedio fue de 16.5 guías y estos resultados son similares a los realizadas por Skerman (1991), que obtuvo un promedio de 15 guías por planta de canavalia. Contreras E. et. al. (1998), estudios realizados en México se ha determinado que la canavalia a parte de ser plantas erectas de tronco cortó y grueso, poseen una serie de ramificaciones que en algunos casos alcanzan los 3 metros de longitud, además le dan un mayor soporte a la planta y evitan el crecimiento de malas hierbas.

Número promedio de vainas por planta de canavalia.

Los resultados obtenidos para la variable número de vainas por planta se determinó mediante la prueba “t de student” en promedio de 9 vainas/planta resultando superior en un 13.40% con los datos estudiados por Skerman (1991), en el que reportó 7 vainas por planta. Lo que representa una diferencia de 2 unidades mas a las obtenidas en el presente trabajo de investigación; por lo tanto esta diferencia no es significativa.

Según Gispert C. (2001), menciona que el fruto de la canavalia es una legumbre que puede variar en su número, dependiendo de las condiciones climáticas en los que se encuentre, así mismo las semillas pueden ser de un tamaño variado y una coloración blanca uniforme. Ulrike B. (1997), menciona que los frutos pueden medir en promedio de 30cm. x 3.5 cm., estos son ensiformes, aplastados y algo recurvado con 2 o 3 costillas longitudinales, con un número en cada planta de 10 – 15. Marín y Navas (1994), mencionan que en estudios realizados en asocio de canavalia y maíz se contabilizó un promedio de 9 frutos por planta de canavalia; además se demuestra un aumento en el número de frutos con respecto al monocultivo de canavalia reportando en promedio 15 frutos por planta.

Peso promedio de follaje de canavalia.

En cuanto a la variable peso fresco promedio de follaje de canavalia por muestreo realizado fue de 4.16 libras (incluidas todas las partes de la planta como son guías, tallos, hojas y frutos) equivalentes a 849.72 qq/ha y se demostró mediante la prueba de “t de student” un aumento del 15.29% de follaje verde en comparación al promedio obtenido por Ulrike B. (1997) que fue de 719.78 qq/ha.

Moscoso B. et. al. (1998), mencionan que este cultivo es importante debido a la cantidad de materia orgánica y nitrógeno que aporta al suelo; su follaje fresco (incluidos los tallos, frutos, hojas y guías de la planta) puede contener entre 0.5 y 1% de Nitrógeno. Sin embargo Gispert C. (2001), manifiesta que estos cultivares tienen gran capacidad para producir biomasa utilizada como abono verde, estas tiene hábitos de crecimiento indeterminado, así como también la producción de biomasa se puede ver incrementada dependiendo de las condiciones climáticas en que se desarrolle esta planta, por lo general en las zonas tropicales alcanza muy buenos resultados de producción de biomasa alcanzando de 730 a 876 qq/ha.

Así mismo Contreras E. et. al. (1988), afirma que la producción de biomasa fresca de canavalia disminuye cuando se asocia con maíz, produciendo 375.08 qq/ha, comparado con el cultivo de canavalia en monocultivo que puede producir hasta 506 qq/ha.

4.11. Variables relacionadas a los análisis químicos.

En la discusión de los datos analizados puede ocurrir un fenómeno que puede deberse tanto al manejo de suelo, manejo de la muestra de suelo y las soluciones patrones utilizadas en el análisis químico de suelo.

4.11.1. Materia orgánica (M O).

El contenido de materia orgánica reportado para el año 2006, período en que se inicio el establecimiento de los sistemas evaluados reportó en promedio un contenido alto de materia orgánica presente en cada sistema que fue de 6.89% - 5.65%; sin embargo para el ultimo año de investigación 2008 se reportaron contenidos mínimos de 1.76% y máximos de 2.56%, lo que representa un decrecimiento en el contenido de este elemento. El sistema que presento el menor contenido de materia orgánica fue M-C con un 1.76%, luego el sistema M-G con un 2.40% y el sistema M-L con 2.56% de materia orgánica. Los sistemas M-G y M-C, los cuales han hecho aportes de materia orgánica, el primero (canavalia) por los cortes de biomasa que se hicieron al final de la cosecha y que consistieron en hojas, tallos y vainas en estado verde, cuya relación C/N es de 15/1 y el segundo (gandul) cuyos rastrojos quedaron sobre la superficie y que tienen una relación C/N de 19/1 en estado verde, lo que significaría el posible aumento del porcentaje de materia orgánica en el suelo; aunque considerando que la relación C/N que presenta el gandul y la canavalia son materiales con contenido alto de nitrógeno estos tienden a ser degradados con mucha rapidez por los organismos del suelo y la producción de materia orgánica humificada es mas baja pero con el beneficio del aporte de nitrógeno al suelo e incremento de la población microbiana. Esta ultima declaración permite plantear el porque del comportamiento del contenido de la materia orgánica en el suelo en el período que comprende la investigación (2006-2008), así lo reporta Alegría B. (1993); al mencionar que las leguminosas aportan altos contenidos de materia orgánica, sin embargo este resultado esta sujeto a las condiciones climatológicas y características de los suelos, ya que las temperaturas altas elevan las poblaciones de microorganismos que se encargan de la descomposición del material vegetal desechado por las plantas y en consecuencia se da una transformación mas rápida de este material que luego vuelve a ser asimilado por la planta, Brady N. (2002), menciona que la transformación que sufren los restos vegetales en el suelos, se realiza bajo la acción de distintos grupos de microorganismos, así como de diversos representantes de la microfauna edáfica (ácaros, insectos y lombrices), estas desintegraciones mecánicas, oxidaciones e

hidrólisis, pueden ocurrir bajo la acción directa de las precipitaciones atmosféricas, de las reacciones ácido-básicas del suelo, del viento o de los cambios de temperatura; con respecto a este último factor Silva A. (1992), reportó que la materia orgánica que llega al suelo, tras un proceso de descomposición, sufre profundas modificaciones en su composición hasta dar lugar a las llamadas sustancias húmicas, que son propias y exclusivas del suelo, es lo que se conoce como proceso de humificación. En este proceso interviene un gran número de grupos de microorganismos. Silva A. (1992), expone que el descenso del contenido de materia orgánica con el incremento en las temperaturas a nivel de campo tienen su efecto sobre el aumento en el número de poblaciones microbianas que se encargan de descomponer más rápidamente este compuesto; Gispert C. (2001), menciona que con respecto al contenido de materia orgánica del suelo, muchas veces, aunque las cifras sean bajas, no se plantea la fertilización orgánica por condiciones como clima, tipo de cultivo y de suelo, entre otras; aunque afirma que una de las formas más sencillas de aportar materia orgánica al suelo es cultivar especies vegetales de rápido crecimiento que en un momento dado se entierren, como es el caso de las leguminosas.

Silva A. (1992), expone que el contenido de materia orgánica en los suelos es modificado por el uso agrícola; en términos generales y para suelos de diferentes texturas se cumple que el porcentaje de materia orgánica, desciende con el laboreo de los mismos; dicho descenso será más o menos acentuado en el tiempo según el tipo de suelo y manejo aplicado al mismo; el suelo antes o después de alcanzar un equilibrio en cuanto al contenido de materia orgánica puede ingresar a un ciclo de agricultura que incluya pasturas alternadas con cultivos. La inclusión de gramíneas y leguminosas en una rotación agrícola cumple con el objetivo de restaurar las propiedades químicas y físicas del suelo a través del aumento del material orgánico.

4.11.2. Nitrógeno (N).

Considerando que los datos de los análisis de laboratorio se demuestran que la disponibilidad de nitrógeno en los tres sistemas de cultivo evaluados (M-G, M-C, M-L) en el período 2006-2008 reportaron valores cualitativos menores a 35ppm lo que indica que el contenido de nitrógeno por aportes de la materia orgánica por gandul, canavalia, lombriabono, además de rastrojos de maíz no fueron considerables para efectuar un incremento de dicho elemento,

también es de mencionar que el contenido de nitrógeno que puede proveer la materia orgánica dependen del proceso de humificación y de la mineralización del elemento. Es importante mencionar que no se realizó una incorporación de los materiales vegetales de gandul, canavalia, y rastrojos de maíz, únicamente se depositaron estos restos sobre el suelo sin realizar ninguna actividad mecánica. Se puede mencionar además que la localidad en que se desarrolló el trabajo presenta temperaturas (27°C – 32°C) que favorecen al incremento de las poblaciones de organismos y por lo tanto la transformación de la materia orgánica, sin embargo también es de mencionar que en temperaturas altas como las que se desarrollan en el trópico conllevan a un proceso de degradación de la materia orgánica que promueven la pérdida de nitrógeno por su alta volatilización. Otro factor importante es el comportamiento de los factores relaciones con el tipo de suelo, ya que en el lugar de la investigación se tienen suelos con texturas franco arenosas lo que permite que se de una lixiviación no solo del nitrógeno sino de otros elementos presentes en el suelo. Además se tiene la presencia de cultivos en asocio como es el caso del cultivo de maíz, las cuales extraen el nitrógeno disponible en el suelo para desarrollar sus funciones fisiológicas. Estos procesos de extracción de este elemento por las plantas es considerado por Gispert C. (2001), ya que afirma que la fotosíntesis es el más importante de los procesos fisiológicos que gobiernan la vida de las plantas, si se sabe además que el nitrógeno es indispensable en la molécula de clorofila, donde tienen lugar importantes reacciones fotosintéticas, además es constituyente de proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos. Zagal E. (2003), menciona que las plantas absorben compuestos solubles de nitrógeno, tanto en forma de nitrato (constituye la forma dominante del nitrógeno en el suelo), como en forma de amonio. El equilibrio varía según las formas y las circunstancias de las especies, pero en general el nitrato constituye la fuente principal de nitrógeno en los cultivos; los microorganismos pueden utilizar ambos componentes pero prefieren el amonio. Afirma además que a mayores cantidades de materia orgánica en los suelos mayor será la actividad microbiana con una sustancial parte del nitrógeno mineralizado originado de la descomposición de residuos de cultivos frescos o resientes. Gispert C. (2001), dice que con relación a los demás nutrientes, el nitrógeno ocupa un lugar muy importante para las plantas por las siguientes razones:

1. Se requiere en altas cantidades.
2. Se halla casi por completo ausente del material original de los suelos.

3. Su presencia en ellos se debe fundamentalmente a la actividad biológica de los microorganismos del suelo; otras fuentes suministradoras de nitrógeno son los fertilizantes artificiales.
4. Las formas de nitrógeno asimilable por las plantas, el ión amonio (NH_4) y el nitrato (NO_3) no son muy persistentes en el suelo, por lo que fácilmente se pierden, el ión nitrato se lava con facilidad a través del perfil, porque es muy soluble en agua y no queda retenido por el complejo absorbente (humus + arcilla) del suelo. El ión amonio, aunque se adsorbe, puede transformarse en ión nitrato por la acción de los microorganismos y perderse por lixiviación.
5. Su disponibilidad limita más que la de ningún otro elemento la productividad vegetal.

Silva A. (1992), agrega que es bien conocido que el contenido de nitrógeno en la mayoría de suelos declina cuando la tierra esta sujeta a un intenso laboreo. Esta perdida de nitrógeno no afecta directamente a todas las fracciones de nitrógeno (amonio y nitrato). Aunque debería señalarse que ni los cultivos de larga duración, ni la adición de restos orgánicos al suelo afectan en gran forma la distribución relativa de las formas del nitrógeno. Hinson K. (1978), aporta que la fijación simbiótica resulta una fuente menos costosa de nitrógeno, por consiguiente, todo plan para suplementar la fijación de nitrógeno con fertilización nitrogenada debe también considerar las formas de mantener un nivel elevado de fijación de nitrógeno.

4.11.3. Fósforo (P).

El contenido de fósforo reportado en los tres sistemas en estudio y para el año 2006 presentó niveles muy altos (MA) de este elemento en las muestras analizadas (61.95ppm – 53.20ppm), pero se observa un decrecimiento considerable para los siguientes años (2007-2008) en los tres sistemas evaluados. Sin embargo, según los análisis de el contenido de fósforo en el gandul y la canavalia, pueden favorecer el aporte de este elemento a través de la materia orgánica depositada en el suelo, desarrollando el proceso de reciclaje, con la única salida de fósforo del sistema a través del grano de maíz. Cabe mencionar que la variación en los análisis de laboratorio y por lo tanto el contenido de este elemento en los años de evaluación de la investigación pudieron verse afectados por la época en que se tomaron las muestras (al final del ciclo del cultivo) de suelo en los diferentes sistemas de cultivo. Así como también el pH del suelo es un factor determinante en la presencia y disponibilidad de este elemento, al respecto Sanzano A. (2003), menciona que la mayor

parte de la fijación del fósforo ocurre a muy altos o muy bajos niveles de pH; cuando el pH sube desde menos de 5 hasta 6, los fosfatos de hierro y aluminio se hacen menos solubles; además cuando el pH cae desde 8 hasta menos de 6 los fosfatos de calcio aumentan su solubilidad, por lo tanto como regla general en los suelos minerales la fijación de fosfato es baja (y la disponibilidad para la planta es alta), cuando el pH se mantiene en el rango de 6 a 7. El bajo aprovechamiento de las plantas por el fosfato agregado en una estación dada es debido parcialmente a esta fijación.

Sanzano A. (2003), también menciona que además del fósforo orgánico provisto para la mineralización, la materia orgánica del suelo puede aumentar la disponibilidad por reducción de la tendencia de la fracción mineral a fijar el nutriente. Esto se debe al poco acceso de los sitios de fijación por el humus, los ácidos orgánicos, los quelatos de hierro y aluminio; el retorno de los residuos, incluyendo el de los abonos verdes en las rotaciones del cultivo, el mulch con varios materiales orgánicos y otros desechos en descomposición puede aumentar el fósforo disponible en los suelos. Ulrike B. (1997), afirma que el gandul en siembra pura o intercalada con granos básicos aumenta el fósforo disponible para los cultivos en el suelo. En este caso, el fósforo aumenta tanto la fijación de nitrógeno como la producción de abono verde. Además una buena porción del fósforo aplicado se traslada al cultivo agrícola por medio del abono verde. Alegría B. (1993), reporta que los niveles de fósforo entre los niveles de 13 – 30 ppm., son altos en los suelos que presentan esta disponibilidad.

4.11.3. Calcio + Magnesio (Ca + Mg).

Con respecto al contenido de calcio y magnesio en los análisis realizados (2006-2008), presentaron en el caso del calcio un nivel promedio de 3.00 a 3.13 meq/100gr de suelo en los tres sistemas evaluados, catalogándolos como niveles bajos del contenido de este elemento; del mismo modo el contenido de magnesio se encuentra en un nivel bajo, reportando promedios de 1.21 – 1.50 meq/100gr de suelo, este comportamiento indica que de igual caso que el nitrógeno la textura del suelo (franco – arenoso) favorece al lavado de las bases intercambiables y considerando de que el suelo inicialmente ha tenido un contenido bajo de estos elementos entonces se reflejara que los aportes producidos por las leguminosas y el lombricompost también serán bajos.

Estos niveles de Calcio y Magnesio son normales en los suelos con texturas franco arenosas como los del lugar en estudio; así lo reporta Gispert C. (2001), al mencionar que el Magnesio se encuentra en los suelos en cantidades abundantes; aunque pueden encontrarse deficiencias en suelos arenosos o ácidos; en el caso del Calcio tiene una participación directa en la absorción del Magnesio, no es corriente la deficiencia de este elemento en los suelos. Guevara D. (2002), afirma que el ciclo que tiene el Calcio en el suelo comprende un balance de ganancias y pérdidas, absorción del cultivo y exportación, lavado y erosión. En general el Calcio y Magnesio se encuentran disponibles como cationes de intercambio, y la cantidad disponible tiene una relación directa con la meteorización y la lixiviación. Los niveles satisfactorios de la fertilidad de un suelo dependen de las enmiendas para balancear las pérdidas de Calcio y Magnesio.

4.11.5. pH del suelo.

Los análisis de suelos reportan un incremento del pH en el sistema M-G en un 12.60 % (4.60 - 5.18), es decir que se da un cambio de nivel en comparación con los resultados presentados al inicio de la investigación (2006) de fuertemente ácido a moderadamente ácido (2008); en el caso del sistema M-L se mantienen los resultados reportándose como moderadamente ácido, disminuyendo únicamente en un 1.27% al final de la investigación (2008) debiéndose esta situación al origen animal de este producto, lo que también permite mencionar que el lombríbono no tiene una buena participación en el poder tampón del suelo inmediatamente al aplicarse en una parcela, pero en el último año de investigación del proyecto este logra estabilizar el pH del suelo; en el sistema M-C igualmente se mantiene el nivel de pH en moderadamente ácido, descendiendo solamente en un 2.06% con respecto a los datos presentados al inicio de la investigación (2006). En el caso del sistema M- C que presentó un comportamiento uniforme en el pH del suelo se debe al aporte de material orgánico lo que favorece el desarrollo del poder tampón del suelo y el mantenimiento del pH en este. Uno de los factores que favorecen la disminución del pH en los sistemas de cultivo es el lavado de las bases intercambiables (calcio – magnesio) debido a que la textura del suelo en el sitio de la investigación es de franco-arenoso; es de considerar que la materia orgánica desarrolla una serie de sustancias que participan en la estabilización del pH del suelo. Así como también este comportamiento en el incremento o disminución del pH se puede interpretar como un efecto que ejercen las plantas al adsorber los nutrientes del suelo, los cambios químicos que efectúan las raíces de los cultivos y las concentraciones de

algunos iones de elementos del suelo que pueden generar acidez, además de la lixiviación de nutrientes que ocurre en suelos franco-arenosos. Este tipo de comportamientos en el pH del suelo también han sido identificados por Brady N (2002), al mencionar que existen unos modificadores naturales que afectan tanto a la génesis del suelo como a su comportamiento, como son la absorción de nutrientes por las plantas y el lavado que se produce en los climas húmedos, que eliminan gran parte de las bases y provocan una acidificación; o la alteración mineral en la que se liberan bases y genera una alcalinización. Pineda JA (2006), menciona que la fertilización de los cultivos con lombricompost, genera una estabilización del pH con el transcurso del tiempo y no inmediatamente, debido a que es un producto de carácter animal (ver anexo 12).

4.12. Análisis nematológicos y microbiológicos del suelo, durante el período 2006-2008.

Los análisis nematológicos reportados demuestran un incremento en el número de géneros de nematodos encontrados al final de la investigación (año 2008), en comparación a los que se reportaron para el año 2006, este incremento resulta debido a la presencia de rastrojos de maíz, gandul y canavalia en las parcelas, por lo tanto un buen contenido de materia orgánica en los suelos estabiliza y diversifica las poblaciones de estos organismos y como lo describe Silva, A. (1992), que al cultivar el suelo, aumenta el número de microorganismos, explicándose este hecho probablemente por el aumento de la aireación de la capa arable y disminuyendo los daños a los cultivos siempre y cuando exista un adecuado equilibrio entre los organismos benéficos y los patógenos.

Se ha reportado a los géneros de nematodos conocido como *Thilenchorrhinchus sp* en 72n /250 gr de suelo, *Pratylenchus sp* en 8n/ 250 gr de suelo al igual que *Trichodorus sp* lo que indica que estos no son causa de daño a los cultivos, ya que se encuentran en cantidades bajas, así lo menciona Gisper, C. (2003), que los géneros *Tylenchorrhinchus sp*, *Pratylenchus sp* y *Trichodorus sp*, son patogénicos y pueden afectar los cultivos que se siembren en el sitio, si se encuentran en cantidades altas de 1000n / 250 gr de suelo.

4.13. Evaluación económica.

En base a los resultados de este análisis se determinó que el sistema T2 (M-C), que es el que presento la mejor relación beneficio-costo de \$2.06 lo que indica que presenta una utilidad de rentabilidad de \$1.06 por cada dólar invertido; el sistema T3 (M-L), le sigue con una relación beneficio-costo de \$2.01 que representa una utilidad de \$1.01 por cada dólar invertido y por último el sistema T1 (M-G) con una relación beneficio-costo de \$1.31, lo que indica que su utilidad fue de \$0.31 por cada dólar invertido. La finalidad de esta evaluación es para determinar que el sistema T2 (M-C), es el que presenta un margen mas amplio de utilidad neta que es de \$773.00, sin embargo también los costos de producción se incrementan debido a la compra de semilla de canavalia y la siembra de esta. En cuanto al sistema T3 (M-L) su utilidad neta es similar al T2 (M-C), que es de \$723.00, también se observa un incremento en los costos de producción que resultan de la compra del lombriabono y su aplicación en la parcela y por último se encuentra el sistema T1 (M-G), con una utilidad neta de \$215.00, muy por debajo que los otros sistemas evaluados aunque sus costos de producción también son mas bajos. Estos sistemas constituyen alternativas dirigidas a los pequeños agricultores, que pueden implementar en sus parcelas para obtener mejores utilidades económicas y al mismo tiempo protegen y aportan elementos nutritivos al suelo para mejorar sus capacidades químicas y físicas.

5. CONCLUSIONES.

1. La utilización en varios ciclos agrícolas (2006 – 2008) de los sistemas M-G, M-C y M-L presentó un efecto positivo al mejorar las características químicas de los suelos manteniendo los contenidos de materia orgánica, Calcio, Fósforo, Nitrógeno y otros elementos, así como también el incremento en los rendimientos de maíz.
2. Se registro un incremento en las poblaciones de hongos (*Penicillium sp*, *Trichoderma sp*, *Fusarium sp*, *Esclerotium sp*) y bacterias (*Basillus subtilis*) presentes en los suelos.
3. El sistema que produjo los mejores resultados en cuanto al rendimiento de grano de maíz fue el T2 (M-C), con 110.88 qq/ha, seguido del T3 (M-L) con 107.82 qq/ha.
4. El sistema T1 (M-G) aportó 1154.86 qq/ha de follaje verde al suelo, siendo superior al sistema T2 (M-C) que solo aportó 849.72 qq/ha de follaje verde al suelo.
5. Los sistemas que mayor cantidad de rastrojo de maíz aportaron al suelo fueron T2 (M-C) y T3 (M-L) con 200.20 qq/ha y 195.64 qq/ha respectivamente, mientras que el sistema T1 (M-G) solamente apporto 147.96 qq/ha de rastrojo de maíz.
6. El sistema T1 (M-G) es el que mayor aceptación presentó entre los agricultores, por la cantidad de materia orgánica que el cultivo de gandul aportó al suelo.
7. El análisis económico reportó que el sistema T2 (M-C) y T3 (M-L), son las que generan las mejores utilidades, es decir que por cada dólar invertido se genera \$1.06 y \$1.01 respectivamente; mientras que el sistema T1 (M-G) presento una utilidad de \$0.31 por cada dólar invertido.

6. RECOMENDACIONES.

1. La utilización del asocio de maíz con gandul y canavalia, así como también la fertilización de este cultivo con lombriabono ya que se contribuye a incrementar los rendimientos del cultivo de maíz y mantiene las características físicas del suelo durante varios ciclos agrícolas.
2. Se recomienda depositar sobre la superficie del suelo los rastrojos de maíz y de otras plantas, ya que esta actividad genera un incremento en las poblaciones microbiológicas de los suelos.
3. Es recomendable la utilización del sistema T2 (M-C), ya que presentó el mejor rendimiento de grano de maíz por sistema evaluado (110.88 qq/ha).
4. Para mejorar la cantidad de materia orgánica y otros elementos químicos en los suelos se recomienda la utilización de los sistemas T2 (M-C) y T3 (M-L) ya que son los que más cantidad de rastrojo de maíz generan.
5. Se recomienda la utilización del sistema T2 (M-C) ya que es el que reportó una mejor utilidad económica, recuperando \$1.01 por cada dólar invertido.

7. BIBLIOGRAFIA.

- Argueta, A; Hernández, W; López, V; Martínez, C; Orantes, E. (2006). Evaluación Agronómica y recuperación del suelo con leguminosas y lombriabono en parcelas de agricultores de la Villa San Cristóbal y la Estación Experimental y de Prácticas, para el período agosto – noviembre 2006. 31 p.
- Artigas García J. (1988). La alimentación biológica de los suelos en estado natural. Plaza y janes. Estados Unidos. P 189 – 190.
- Byerlee D. (1988). Manual metodológico de evaluación económica. La Recomendación a partir de datos agronómicos CIMMYT. México DF. P 9-11.
- Bukman HO. y Brady NC (1982). Naturaleza y propiedades de los suelos. Unión Tipográfica. Editorial Hispanoamericana S.A. de CV. UTEHA, México D.F. P 427 – 449.
- Bunch R. (1994). El uso de abonos verdes por agricultores campesinos, lo que hemos Aprendido hasta la fecha. CIDDICO. Informe técnico N° 3. 2º edición. Tegucigalpa, Honduras. Junio 1994.
- Brady, N. (2002). Gestión y conservación de los suelos. la degradación del suelo. Boletín informativo N° 3. Virginia. Estados Unidos de América. 25 p.
- CREDHO (Concientización para la Recuperación Espiritual y Económica del Hombre). (1998). Experiencias sobre comportamiento y manejo de 4 especies De frijol abono en la zona Central y Occidental de El Salvador. 7 p.
- CIMMYT (Programa Regional de maíz para Centroamérica y el Caribe). (1989). Proyectos colaborativos en agronomía, desarrollo y mejoramiento de germoplasma en maíz. Tegucigalpa, Honduras. 15p.

- Contreras, E. y Marín D. (1989). Evaluación ecofisiológica de cultivos asociados. Primera edición. Instituto de Botánica Agrícola y de Genética. Maracay, Venezuela. 49p.
- Cuellar Guzmán, S; (1997). Efectividad de leguminosas (*Stizolobium deeringianum*, *Canavalia ensiformis*) sembradas a diferentes épocas y en asocio con maíz para el control de la maleza y mejoramiento de la fertilidad del suelo. Tesis Ing. Ag. UES, Facultad de Ciencias Agronómicas. 118 p.
- Echeverría, H. y Sainz de Rozas, H. (1995). Estimación de la mineralización del Nitrógeno en los suelos. Boletín Técnico N° 135. INTA. Buenos Aires, Argentina. 49p.
- Flores, PL. (1991). Manejo de malezas con leguminosas intercaladas en el cultivo de Maíz sembrado en cero labranza. Boletín informativo sobre abonos verdes. Managua, Nicaragua. 3 p.
- Gallegos, S; Domínguez, R; Polanco, C. (2007). Evaluación agronómica del cultivo De maíz y la mejora del suelo utilizando leguminosas y lombriabono, en el municipio de San Luís Talpa. Departamento de La Paz. Periodo agosto – noviembre 2007. 47 p.
- García Carreon S. y Martínez M. (1999). Abonos verdes SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Montecillo México. 16p.
- García, CM. (2004). Residuos de cultivo de maíz. ENGORMIX. Consultado el día 07 de enero de 2010. disponible en [http://: www.engormix.com.sv](http://www.engormix.com.sv).
- Gisper, C. (2003). Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería. Editorial OCEANO. Barcelona, España. 1032 p.
- Guevara Dorkas, A. (2002). Química de los suelos. La presencia de calcio y Magnesio en los suelos. Departamento de agricultura y desarrollo rural. Buenos Aires. Argentina. 12p.

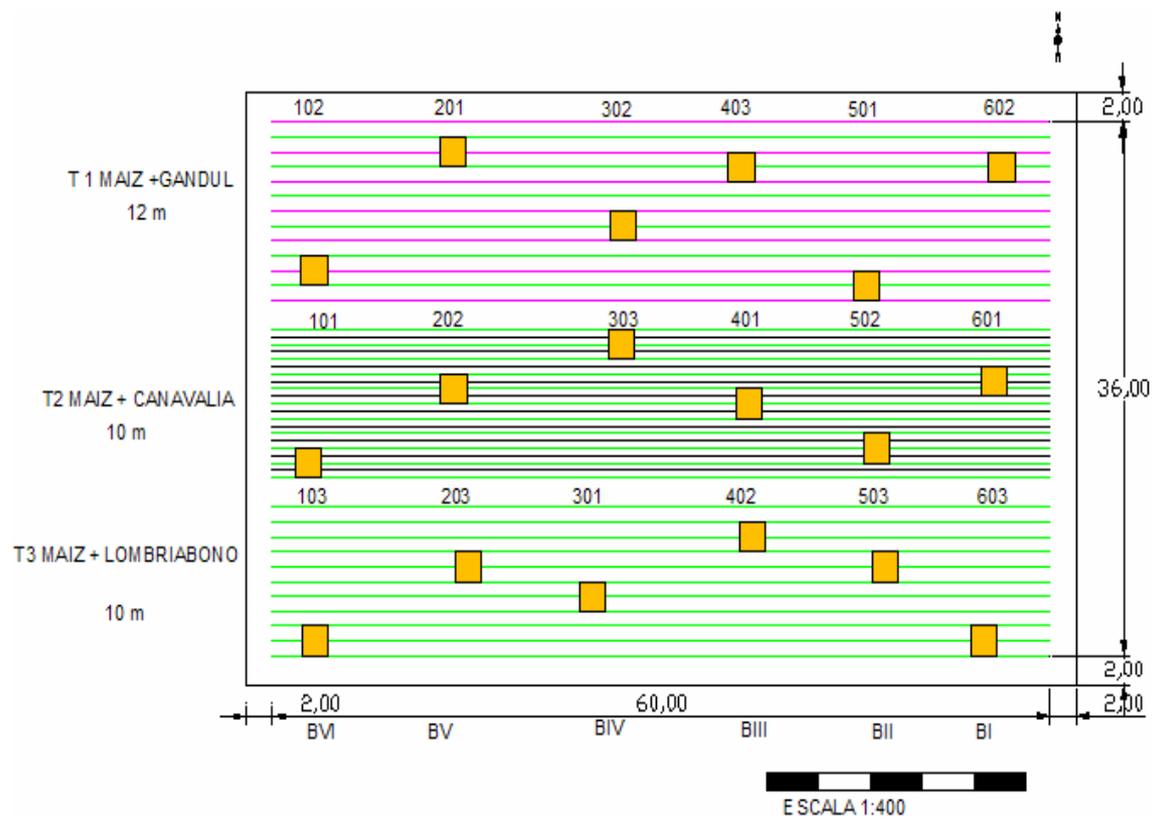
- Herrera F., Velasco C. (1994). Fundamentos del análisis económico, guía para la Investigación y extensión rural. CATIE (Centro de Agronomía Tropical de Investigación y enseñanza). Editorial Turrialba; San José CR.
- Hinson, K. y Hartwind, EE. (1978). La producción de soja en los trópicos, estudios Realizados por la FAO. Producción y protección vegetal. Roma, Italia. FAO; 90 p.
- IICA (Instituto Interamericano para la Cooperación de la Agricultura). (1997). Taller de Consulta sobre el manejo de incentivos para promover actividades de conservación de suelos y agroforestería. El Salvador, 15p.
- Marín, D. y Navas, PB. (1994). Comportamiento ecofisiológico de la asociación de Canavalia – maíz con y sin aplicación de nitrógeno y con diferentes arreglos cronológicos. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay Venezuela. Abril de 1994. 29p.
- Moscoso, B. y Pérez C. (1990). Efectos de intercalar leguminosas a diferentes fechas De siembra y dosis de fósforo en el rendimiento del maíz. Boletín informativo N° 7. CENTA. San Salvador, El Salvador. 8 p.
- Núñez, MA. (1991). Avances sobre la investigación de abonos verdes en el litoral Atlántico de Honduras. CIDDICO. Boletín informativo sobre abonos verdes. Tegucigalpa, Honduras. 10 p.
- Parsons, DB. (2001). Manual para la educación agropecuaria. Maíz. Editorial Trillas; México DF. 2º edición. Septiembre de 2001. p 12 – 20.
- PASOLAC (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de El Salvador). (1999). Produciendo abono con lombrices de tierra. Revista Centroamericana Laderas. Número 4. Nicaragua, enero 1999. p 4 – 5.

- PASOLAC (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de El Salvador).
(2000). Lombricultura, una alternativa para pequeños agricultores en laderas. Revista Centroamericana Laderas. Número 9. El Salvador, diciembre 2000.35p
- Pineda, JA. (2006). Lombricultura / Instituto Hondureño del Café. Primera Edición. Litografía López. Tegucigalpa, Honduras. 38 p.
- Pound B. (1997). Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en América. Natural Resource, Chatman. Estados Unidos. 10p.
- Quiroz, A. y Marín D. (1998). Evaluación de la asociación maíz – gandul con siembra Escalonada y dos niveles de fertilización. Primera edición. Maracay Venezuela. Marzo 1998. 15 p.
- Robinson, DH. (1962). Leguminosas forrajeras; editorial Acribia. 1º edición. Zaragoza, España. P 14 – 17.
- Rodríguez, D; Ortiz, V; Romero, D; Henríquez, Y. (2003). Producción de maíz Híbrido H – 59 u gandul variedad Gwailor-3, asociados en diferentes Modalidades de siembra. Tesis Ing. Agrónomo. UES, Facultad de Ciencias Agronómicas. 95 p.
- Salazar, A. (1989). CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). Introducción y evaluación de gandules forrajeros (Cajanus Cajan). San Andrés, La Libertad, El Salvador. 12 p.
- Sansano, A. (2003). Química de los suelos. la presencia de Fósforo en los suelos Tropicales. New Jersey. Estados Unidos de Norteamérica. 1º edición. 50p.
- Silva, A. (1992). La presencia de materia orgánica en los suelos. Estudios realizados En Uruguay. Nota técnica N° 16. Facultad de Agronomía. Uruguay.

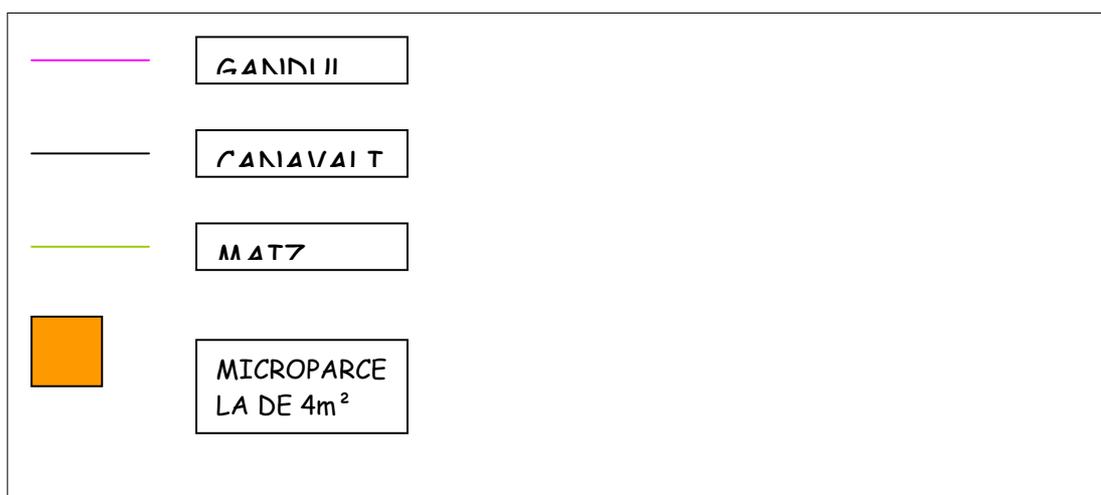
- Sosa Morán, H. y Ascencio, EN. (1989). Evaluación de siembras asociadas de maíz Con leguminosas y 2 niveles de fósforo, Nota técnica N° 22. Departamento de suelos. CENTA. Sacacoyo, La Libertad, El Salvador. 12 p.
- Suárez de Castro F. (1979). Conservación de suelos IICA, editorial IICA, 3° edición. San José, Costa Rica marzo de 1979. p 155 – 168.
- Skerman, P.J. (1991). Leguminosas forrajeras tropicales. Colección FAO, producción Y protección vegetal N° 2. Roma, Italia. 198 p.
- Ulrike, B. (1997). Manual de leguminosas de Nicaragua. Tomo I, primera edición PASOLAC, EAGA. Estela, Nicaragua. p 88-90, 115-122
- Vilanova, JR. (1985). Fisiología del maíz. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. San Salvador. El Salvador. 36p.
- Zagal, E. (2003). El ciclo del nitrógeno en los suelos. Universidad de Concepción Facultad de Agronomía. Departamento de Química y Suelos. Boletín informativo N° 3. Santiago de Chile. Chile. P 103 – 110.

9. Anexos.

Anexo 1.
Plano De Distribución De Los Sistemas En Campo



SIMBOLOGIA:



Anexo 2.

Plano de ubicación de la investigación en la Estación Experimental y de Prácticas de la Universidad de El Salvador.

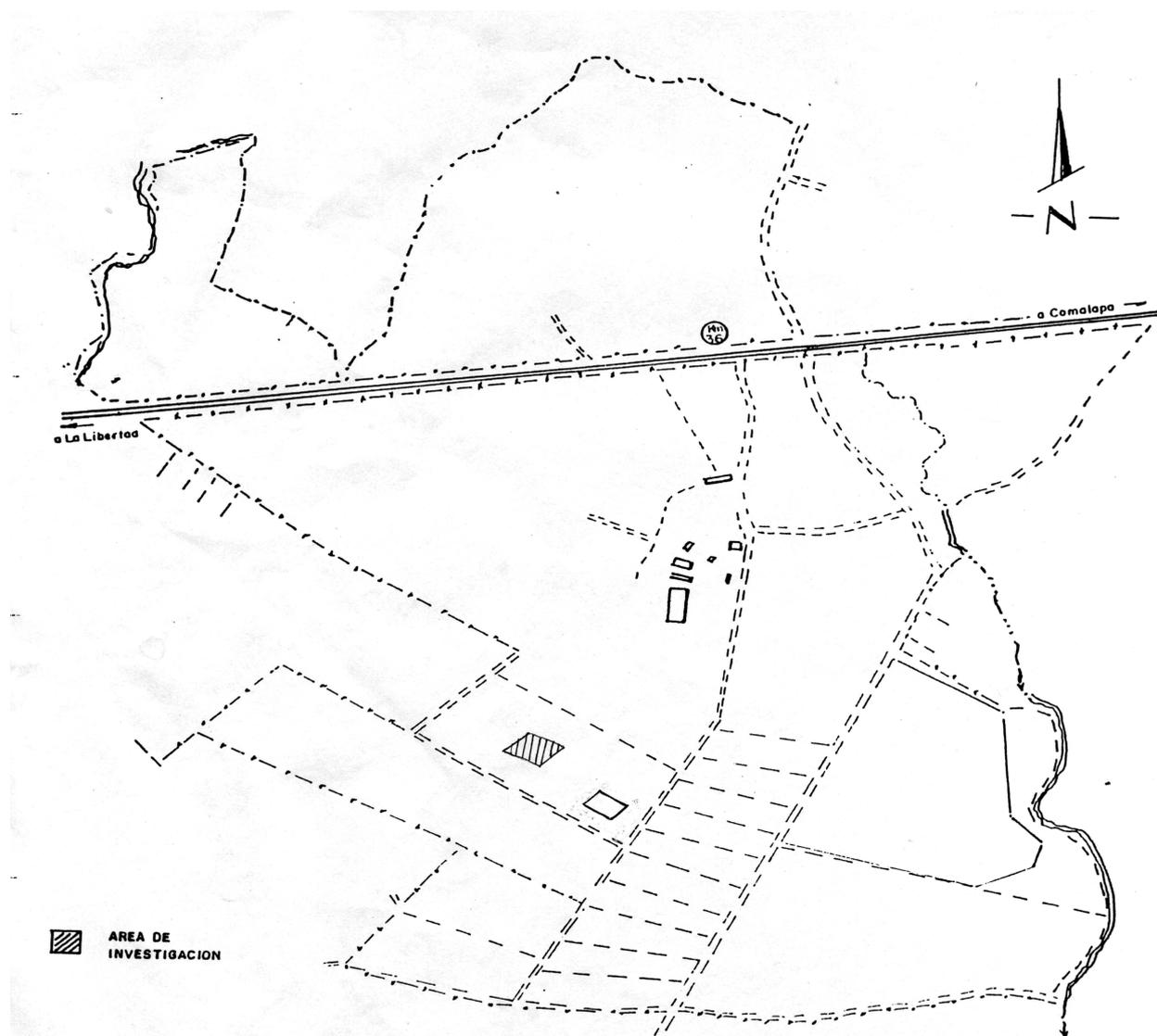


Fig. A - Plano de ubicación del ensayo en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, San Luis Talpa.

Esc. 1:6.500

Anexo 3. Asocio de maíz + gandul.**Anexo 4. Asocio de maíz + Canavalia.**

Anexo 5. Asocio de maíz + lombriabono.**Anexo 6. Pesado del rastrojo de maíz.**

Anexo 7. Rendimiento de grano de maíz.**Anexo 8. Pesado del follaje de gandul.**

Anexo 9. Pesado del follaje de canavalia.**Anexo 10. Muestreo de suelos**

Anexo 11. Aceptación de tecnologías



Anexo 12. Influencia del pH en el suelo

