

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
SANTO DOMINGO

“EFECTO DE LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE EL SUELO, DESARROLLO Y
RENDIMIENTO DE DOS CICLOS SUCESIVOS DE MAÍZ, BAJO DIFERENTES
ARREGLOS DE SIEMBRA Y FORMAS DE APLICACIÓN DE NITRÓGENO”

MADAI MERIBETH ACOSTA ESCOBAR
OMAR ALEJANDRO GALÁRRAGA GALÁRRAGA

INFORME TÉCNICO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

2011

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
SANTO DOMINGO

“EFECTO DE LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE EL SUELO, DESARROLLO Y
RENDIMIENTO DE DOS CICLOS SUCESIVOS DE MAÍZ, BAJO DIFERENTES
ARREGLOS DE SIEMBRA Y FORMAS DE APLICACIÓN DE NITRÓGENO”

MADAI MERIBETH ACOSTA ESCOBAR
OMAR ALEJANDRO GALÁRRAGA GALÁRRAGA

INFORME DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIEROS
AGROPECUARIOS.

SANTO DOMINGO – ECUADOR

2011

III

“EFECTO DE LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE EL SUELO, DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE DOS CICLOS SUCESIVOS DE MAÍZ, BAJO DIFERENTES ARREGLOS DE SIEMBRA Y FORMAS DE APLICACIÓN DE NITRÓGENO”

MADAI MERIBETH ACOSTA ESCOBAR
OMAR ALEJANDRO GALÁRRAGA GALÁRRAGA

REVISADO Y APROBADO

ING. VICENTE ANZULES
DIRECTOR DE CARRERA
DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Ing. Alfredo Valarezo L.
DIRECTOR

Ing. Freddy Enríquez MSc.
CODIRECTOR

Ing. Vinicio Uday P.
BIOMETRISTA

Dr. Ramiro Cueva Villamarín
SECRETARIO ACADÉMICO

IV

“EFECTO DE LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE EL SUELO, DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE DOS CICLOS SUCESIVOS DE MAÍZ, BAJO DIFERENTES ARREGLOS DE SIEMBRA Y FORMAS DE APLICACIÓN DE NITRÓGENO”

MADAI MERIBETH ACOSTA ESCOBAR
OMAR ALEJANDRO GALÁRRAGA GALÁRRAGA

APROBADO POR LOS SEÑORES MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN DEL INFORME TÉCNICO.

| | CALIFICACIÓN | FECHA |
|---|---------------------|--------------|
| Ing. Alfredo Valarezo L. DIRECTOR | _____ | _____ |
| Ing. Freddy Enríquez MSc. CODIRECTOR | _____ | _____ |

CERTIFICO QUE ESTAS CALIFICACIONES FUERON PRESENTADAS EN ESTA SECRETARÍA.

Dr. Ramiro Cueva Villamarín
SECRETARIO ACADÉMICO

DEDICATORIA

A nuestros Padres que nos
cuidan desde el cielo, y a
nuestras Madres por el
sacrificio que han realizado
para nosotros poder alcanzar
este título tan anhelado.

AGRADECIMIENTO

A Dios por sobre todas las cosas, por colmarnos de sabiduría, paciencia y amor, gracias por tu misericordia y por siempre acompañarnos.

A nuestras Madres que creyeron en nosotros, por los valores y por sus sacrificios dándolo todo para que hoy concluyamos una etapa más de nuestra formación integral, gracias Hermanas, por brindarnos ese espíritu de fuerza y enseñarnos que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos.

A la Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias Santo Domingo de los T´sachilas, por hacer de nuestra vida universitaria una experiencia enriquecedora e inolvidable.

A los Ingenieros Alfredo Valarezo y Freddy Enríquez por su dirección, valiosa colaboración y sus acertadas recomendaciones, para el desarrollo de esta investigación.

A todos nuestros docentes por el aporte a nuestra instrucción profesional, por todos sus consejos técnicos y aquellos apegados al desarrollo de nuestras vidas para ser mejores personas. En especial a los Ingenieros Carlos Farfán, Jorge Reina, Doctor Gelacio Gómez, Bióloga Venus Arévalo, Javier Tumbaco, Paula Plaza por su amistad y valiosos consejos durante esta ardua carrera.

A cada uno de nuestros compañeros, por vuestra simpatía y amistad, por sus bromas que cada día le daban un matiz cálido a nuestras vidas estudiantiles, a todos quienes cuyas actividades curriculares y extracurriculares brindadas, quedaran grabadas dentro de nuestros corazones.

AUTORÍA

Las ideas expuestas en el presente trabajo de investigación, así como los resultados, discusión y conclusiones son de exclusiva responsabilidad de los autores

Madai Meribeth Acosta Escobar

Omar Alejandro Galárraga Galárraga

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | VIII |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | XIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XVI |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | XXII |
| | |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. SIEMBRA DIRECTA O LABRANZA CERO | 4 |
| 2.1.1. Ventajas de la SD o LC | 5 |
| 2.1.2. El rol de los Rastrojos en la Fertilidad del Suelo | 6 |
| 2.1.3. Problemas del Rastrojo en SD..... | 8 |
| 2.2. EFECTOS DE LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS | 9 |
| 2.3. SIEMBRA DIRECTA EN MAÍZ | 10 |
| 2.4. LA MATERIA ORGÁNICA EN SIEMBRA DIRECTA | 11 |
| 2.4.1. Importancia de la Materia Orgánica | 12 |
| 2.4.2. Beneficios de la Materia Orgánica en el Suelo | 13 |
| 2.5. MESO Y MACRO FAUNA DEL SUELO EN SIEMBRA DIRECTA .. | 13 |
| 2.6. DINÁMICA DE NUTRIENTES Y FERTILIZACIÓN EN SIEMBRA DIRECTA | 18 |
| 2.6.1. Nitrógeno en SD | 18 |
| 2.6.1.1. Mineralización-inmovilización | 19 |
| 2.6.1.2. Lixiviación del nitrógeno..... | 19 |

IX

| | | |
|----------|--|----|
| 2.6.1.3. | Desnitrificación | 20 |
| 2.6.1.4. | Volatilización del amonio | 20 |
| 2.6.1.5. | Aplicación de fertilizantes nitrogenados | 21 |
| 2.6.1.6. | Dosis de fertilizantes nitrogenados | 22 |
| 2.6.1.7 | Fraccionamiento | 22 |
| 2.6.1.8. | Formas de aplicación y fuente | 23 |
| 2.6.2. | Fósforo y Potasio en SD | 24 |
| 2.7. | CONTROL DE MALEZAS EN SIEMBRA DIRECTA | 25 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS | 27 |
| 3.1. | UBICACIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN..... | 27 |
| 3.1.1. | Ubicación Política..... | 27 |
| 3.1.2. | Ubicación Geográfica..... | 27 |
| 3.1.3. | Ubicación Ecológica..... | 28 |
| 3.1.4. | Historia Agrícola del Sitio de Ensayo | 29 |
| 3.2. | MATERIALES | 29 |
| 3.2.1. | Materiales de Campo | 29 |
| 3.2.1.1. | Equipos | 29 |
| 3.2.1.2. | Insumos | 30 |
| 3.2.2. | Materiales de Laboratorio | 30 |
| 3.2.3. | Materiales de Oficina | 31 |
| 3.3. | MÉTODOS | 31 |
| 3.3.1. | Diseño Experimental | 31 |
| 3.3.1.1. | Factores a probar..... | 31 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.3.1.2. | Tratamientos a comparara | 32 |
| 3.3.1.3. | Repeticiones o bloques..... | 33 |
| 3.3.1.4. | Tipo de diseño | 33 |
| 3.3.1.5. | Características de la unidad experimental | 33 |
| 3.3.1.6. | Disposición del cultivo en el campo | 34 |
| 3.3.2. | Análisis Estadístico | 35 |
| 3.3.2.1. | Esquema de análisis de varianza | 35 |
| 3.3.2.2. | Coefficiente de variación | 36 |
| 3.3.2.3. | Análisis Funcional | 37 |
| 3.3.3. | Análisis Económico | 37 |
| 3.3.4. | Metodología para la Caracterización del Paisaje y del Perfil de Suelo | 37 |
| 3.3.4.1. | Características hidro-físicas del suelo | 37 |
| 3.3.4.2. | Características químicas..... | 40 |
| 3.3.4.3. | Características biológicas | 40 |
| 3.3.5. | Variación de la Humedad del Suelo | 41 |
| 3.3.6. | Variables a Medir | 41 |
| 3.3.6.1. | Azufre, Boro, Fósforo, Nitrógeno, Materia orgánica y Potasio | 41 |
| 3.3.6.2. | Determinación de la meso y macro fauna | 41 |
| 3.3.6.3. | Altura de planta..... | 42 |
| 3.3.6.4. | Diámetro del tallo | 42 |
| 3.3.6.5. | Altura de inserción de la primera mazorca | 42 |

XI

| | | |
|----------|---|----|
| 3.3.6.6. | Días a la floración masculina | 43 |
| 3.3.6.7. | Días a la madurez fisiológica total | 43 |
| 3.3.6.8. | Porcentaje de humedad del grano | 43 |
| 3.3.6.9. | Rendimiento del grano | 43 |
| 3.3.7. | Manejo Específico del Ensayo | 44 |
| 3.3.7.1. | Adecuación del terreno | 44 |
| 3.3.7.2. | Instalación | 44 |
| - | Preparación del terreno | 45 |
| - | Delimitación | 45 |
| 3.3.7.3. | Control de malezas | 45 |
| 3.3.7.4. | Siembra | 46 |
| 3.3.7.5. | Fertilización..... | 46 |
| 3.3.7.6. | Control de plagas | 48 |
| 3.3.7.7. | Cosecha | 49 |
| 3.4. | METODOLOGÍA PARA EL OBJETIVO INSTITUCIONAL | 49 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 50 |
| 4.1. | CARACTERIZACIÓN DEL PAISAJE Y PERFIL DE SUELO | 50 |
| 4.1.1. | Descripción del Paisaje y del Perfil del Sitio de Ensayo | 51 |
| 4.1.2. | Descripción del Perfil..... | 52 |
| 4.1.3. | Velocidad de Infiltración | 55 |
| 4.2. | VARIACIÓN HIDROFÍSICA DURANTE EL ENSAYO | 56 |
| 4.2.1. | Humedad del Suelo y Precipitación del Sitio | 56 |

XII

| | | |
|----------|---|-----|
| 4.2.1.1. | Correlación lineal entre humedad de suelo y precipitación semanal | 57 |
| 4.3. | CAMBIOS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS | 60 |
| 4.3.1. | Químicos | 60 |
| 4.3.2. | Biológicos | 64 |
| 4.3.2.1. | Identificación, calificación y comparación inicial vs final de la meso y macro fauna del suelo | 64 |
| 4.4. | EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO, DE DOS CICLOS DE PRODUCCIÓN | 67 |
| 4.4.1. | Altura de Planta | 67 |
| 4.4.2. | Diámetro de Tallo | 73 |
| 4.4.3. | Altura de Inserción de la primera Mazorca | 75 |
| 4.4.4. | Días a la Floración Masculina | 80 |
| 4.4.5. | Días a la Madurez Fisiológica Total | 85 |
| 4.4.6. | Rendimiento (grano seco) | 89 |
| 4.4. | ANÁLISIS ECONÓMICO | 92 |
| V. | CONCLUSIONES | 96 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 99 |
| VII. | BIBLIOGRAFÍA | 100 |
| VIII. | RESUMEN | 108 |
| IX. | SUMMARY | 110 |
| X. | ANEXOS | 112 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | | |
|-----------|---|----|
| Cuadro 1. | Tratamientos del ensayo..... | 32 |
| Cuadro 2. | Análisis de varianza | 35 |
| Cuadro 3. | Análisis de varianza de los dos ciclos de maíz | 36 |
| Cuadro 4. | Resultados del análisis de suelo y requerimientos nutricionales del cultivo de maíz | 47 |
| Cuadro 5. | Dosis en kg de fertilizantes aplicados en los diferentes tratamientos del ensayo de los ciclos de maíz | 48 |
| Cuadro 6. | Descripción del sitio y suelo, en ensayo para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011..... | 51 |
| Cuadro 7. | Descripción del perfil del suelo, en ensayo para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011..... | 52 |
| Cuadro 8. | Densidad aparente y humedad de los estratos del suelo recolectados en la Hda San Antonio, km 35. 2011..... | 53 |
| Cuadro 9. | Calificación de la presencia de meso y macro fauna del ensayo para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.. | 65 |

XIV

| | | |
|------------|--|----|
| Cuadro 10. | Resumen del ADEVA, sobre la variable Altura de Planta (m) a los 94 dds, para medir el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo en dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011..... | 68 |
| Cuadro 11. | Resumen del ADEVA, sobre la variable Diámetro de Tallo (cm), a los 57 dds, para medir el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011. | 74 |
| Cuadro 12. | Resumen del ADEVA, sobre la variable Altura de Inserción de Mazorca (m) a los 88 dds, para medir el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011..... | 76 |
| Cuadro 13. | Resumen del ADEVA, sobre la variable Días a la Floración Masculina, para medir el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011..... | 81 |
| Cuadro 14. | Resumen del ADEVA, sobre la variable Días a la Madurez Fisiológica Total, para medir el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011 | 86 |
| Cuadro 15. | Resumen del ADEVA, sobre la variable Rendimiento de grano seco (al 13% humedad) en kg/ha, para medir el efecto de la siembra directa sobre el rendimiento en dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011..... | 89 |
| Cuadro 16. | Rendimiento (kg/ha), costos y beneficios netos (dólares) del ciclo 1... | 92 |
| Cuadro 17. | Rendimiento (kg/ha), costos y beneficios netos (dólares) del ciclo 2... | 93 |

| | | |
|------------|---|----|
| Cuadro 18. | Análisis de Dominancia de los dos ciclos de producción de maíz en la Hda San Antonio, Sto Dgo-Quevedo. km 35..... | 94 |
| Cuadro 19. | Tasa de Retorno Marginal de dos ciclos de producción de maíz en la Hda San Antonio, Sto Dgo-Quevedo. km 35..... | 95 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1. | Mapa de la ubicación geográfica del lugar del ensayo..... | 28 |
| Figura 2. | Arreglo de hilera simple | 34 |
| Figura 3. | Arreglo de hilera doble | 34 |
| Figura 4. | Arreglo de siembra en el testigo (labranza convencional) | 34 |
| Figura 5. | Velocidad de infiltración en el perfil del suelo, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo. Hda San Antonio, km 35. 2011..... | 55 |
| Figura 6. | Infiltración acumulada en el perfil del suelo, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo. Hda San Antonio, km 35. 2011..... | 55 |
| Figura 7. | Variación del contenido de humedad en el ensayo para evaluar el efecto de la siembra directa y la labranza sobre el suelo, de dos ciclos sucesivos de maíz de Abril 2010 a Enero 2011. Hda San Antonio, km 35 | 56 |
| Figura 8. | Precipitación durante el período del ensayo Abril 2010 a Enero 2011, para evaluar el efecto de la siembra directa y labranza sobre el suelo. Hda San Antonio, km 35..... | 57 |
| Figura 9. | Correlación entre precipitación y humedad de suelo en el tratamiento de siembra directa a hilera doble..... | 58 |
| Figura 10. | Correlación entre precipitación y humedad de suelo en el tratamiento de siembra directa a hilera simple | 58 |
| Figura 11. | Correlación entre precipitación y humedad de suelo en el tratamiento testigo (labranza convencional) | 59 |

XVII

- Figura 12. Concentración promedio de elementos existentes en el suelo al inicio del ensayo y al final de dos ciclos para la labranza convencional y siembra directa 60
- Figura 13. Concentración promedio de Nitrógeno total en % existente en el suelo al inicio del ensayo y al final de dos ciclos para las formas de aplicación con Urea 62
- Figura 14. Cantidad de insectos en los distintos tipos de labranzas y muestreos para medir el efecto de la siembra directa sobre el suelo, de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011 66
- Figura 15. Presencia promedio de insectos en los distintos tipos de labranza para medir el efecto de la siembra directa sobre el suelo, de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011 67
- Figura 16. Efecto de los arreglos de siembra sobre la altura de plantas (m), a los 94 dds, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011 69
- Figura 17. Efecto de las formas de aplicación de N sobre la altura de plantas (m), tomados a los 94 dds, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011 69
- Figura 18. Efecto de la comparación del testigo vs el resto de tratamientos, en la altura de planta (m), para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011 70

XVIII

- Figura 19. Efecto de la interacción ciclos por arreglos de siembra sobre la Altura de planta (m) a los 94 dds, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo del maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011..... 71
- Figura 20. Efecto de la interacción ciclos de siembra por formas de aplicación de N en Altura de plantas (m), para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo del maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011..... 72
- Figura 21. Efecto de la interacción ciclos de siembra por el testigo, sobre la Altura de plantas (m), para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo del maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011 72
- Figura 22. Efecto de la comparación testigo vs el resto de tratamientos, en el diámetro de tallo, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011... 75
- Figura 23. Efecto de la interacción arreglo de siembra por formas de aplicación de N, en la Altura de inserción de la primera mazorca (m) a los 88 dds, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011 77
- Figura 24. Efecto de la interacción testigo vs el resto de tratamientos, sobre la Altura de inserción de mazorca (m) a los 88 dds, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011 77

- Figura 25. Efecto de la interacción ciclo por arreglo de siembra, sobre la Altura de inserción de mazorca (m) a los 88 dds, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo del maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011 78
- Figura 26. Efecto de la interacción ciclos de siembra por formas de aplicación de N, sobre la Altura de inserción de la primera mazorca, a los 88 dds, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011 79
- Figura 27. Efecto de la interacción ciclos de siembra por testigo, sobre la altura de inserción de la primera mazorca (m), a los 88 dds, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011 79
- Figura 28. Efecto de los ciclos sobre los Días a la floración masculina, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011 81
- Figura 29. Efecto de los arreglos de siembra, sobre los Días a la floración masculina, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011 82
- Figura 30. Efecto de las formas de aplicación de N, sobre los Días a la floración masculina, para evaluar de la siembra directa sobre el desarrollo de dos

- ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de nitrógeno. Hda San Antonio, km 35. 2011.....83
- Figura 31. Efecto de la interacción testigo vs el resto de tratamientos, sobre los días a la floración masculina, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011 ...84
- Figura 32. Efecto de la interacción ciclos de siembra por formas de aplicación de N, sobre los Días a la floración masculina, para evaluar de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de nitrógeno. Hda San Antonio, km 35. 2011 84
- Figura 33. Efecto del ciclo de siembra sobre los días a la madurez fisiológica, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011 86
- Figura 34. Efecto de los arreglos de siembra sobre los días a la madurez fisiológica, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011 87
- Figura 35. Efecto de la interacción testigo vs el resto de tratamientos, sobre los días a la madurez fisiológica, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011... 88

Figura 36. Efecto de los ciclos de siembra sobre el Rendimiento de grano ajustado al 13 % de humedad, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011... 90

ÍNDICE DE ANEXOS

| | | |
|-----------|---|-----|
| Anexo 1. | Resultado del Análisis completo de Suelos en la fase inicial..... | 112 |
| Anexo 2. | Análisis de Boro, Azufre y Conductividad eléctrica | 113 |
| Anexo 3. | Análisis de la Capacidad de Campo y Punto de Marchites Permanente | 114 |
| Anexo 4. | Análisis de textura y pH por cada horizonte del sitio de Ensayo | 115 |
| Anexo 5. | Determinación de la Velocidad de Infiltración, datos de campo..... | 116 |
| Anexo 6. | Resultados de la medición de humedad durante todo el ensayo | 117 |
| Anexo 7. | Datos de campo de Meso y Macro fauna del suelo y rastrojo al inicio del ensayo | 118 |
| Anexo 8. | Insectos encontrados en suelo y rastrojo al inicio del ensayo | 120 |
| Anexo 9. | Datos de campo de Meso y Macro fauna en suelo y rastrojo al final del ensayo | 121 |
| Anexo 10. | Insectos encontrados al final del ensayo | 123 |
| Anexo 11. | Resultado del Análisis de Suelo en la fase final del ensayo..... | 124 |
| Anexo 12. | Resultado del analisis de boro en el suelo de los tratamientos..... | 125 |
| Anexo 13. | Resultado del analisis de azufre en el suelo de los tratamientos | 126 |
| Anexo 14. | Datos de campo de altura de planta | 127 |
| Anexo 15. | Datos de campo de diámetro de tallo | 128 |
| Anexo 16. | Datos de campo de altura de inserción de la primera mazorca | 129 |
| Anexo 17. | Datos de campo de los días a la floración masculina | 130 |
| Anexo 18. | Datos de campo de los días a la madurez fisiológica | 131 |

XXIII

| | | |
|-----------|--|-----|
| Anexo 19. | Datos de campo de la humedad y rendimiento del grano para el primer ciclo de siembra..... | 132 |
| Anexo 20. | Datos de campo de la humedad y rendimiento del grano para el segundo ciclo de siembra..... | 133 |
| Anexo 21. | Costos Totales por hectárea de maíz, en ensayo para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011 | 134 |
| Anexo 22. | Fotos de las labores realizadas y de las variables que se midieron en el ensayo | 135 |

I. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, la producción de maíz como grano seco se ha mantenido estable durante los últimos años. En 2008 la producción llegó a las 687 mil toneladas métricas y 2009 cerró con una producción de 684 mil toneladas métricas de grano seco y limpio (SISPREC, 2009, citado por SICA, 2009). Por lo tanto se tendría que importar mayor cantidad de grano, ya que la demanda anual actualmente bordea las 900 mil toneladas. Siendo probablemente el cultivo más estudiado, las condiciones climáticas cambiantes, en parte por efecto de una agricultura que contribuye a la producción de contaminantes atmosféricos, exige estudiar métodos de producción que ayuden a reducir el contenido de CO₂ en la atmosfera a través de la acumulación de materia orgánica compuesta por malezas y residuos de cosecha.

Esta posibilidad se está dando con el sistema de siembra directa de cultivos como maíz y soya que se viene practicando extensivamente en Argentina, Brasil, Paraguay, Bolivia y otros países del continente sudamericano. No obstante el sistema de siembra directa practicado para pequeñas extensiones y a mano, conlleva dificultades para el aprovechamiento de la nutrición vegetal, pues la existencia en el suelo de una masa de residuos impide la colocación del fertilizante nitrogenado y su posterior contacto con el suelo, donde la planta lo necesita y donde sufre menos pérdidas por volatilización, lixiviación, fijación o desnitrificación.

Con las referencias antes mencionadas, se propuso esta investigación en los predios de la Hda. San Antonio, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, donde se evaluaron los

efectos de la siembra directa sobre el suelo al inicio y al final de dos ciclos de maíz, contrastándola con la labranza convencional o testigo, al mismo tiempo se evaluó la fertilización con urea en cinco formas diferentes de aplicación en dos arreglos de siembra. Adicionalmente se midió el crecimiento y rendimiento de los dos ciclos de maíz, para lo cual se utilizó un diseño bifactorial + 1, con cinco tratamientos más un testigo y tres repeticiones, con el mismo procedimiento en el segundo ciclo.

Se realizó una caracterización y descripción del perfil del lugar del ensayo como referente y punto de partida para investigaciones a largo plazo antes de establecer el ensayo, para luego realizar un estudio en la variación del contenido de humedad durante los dos ciclos del cultivo. Se determinó la composición química del suelo y los cambios ocurridos durante los dos ciclos para lo cual se realizó el análisis correspondiente antes de la primera siembra y después de la segunda siembra, para comparar MO, N, P, K, S y B. Complementariamente se realizó un muestreo de la meso y macro fauna del suelo antes y después de los dos ciclos de cultivo con el fin de evaluar los cambios biológicos.

El objetivo general de la investigación fue evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de nitrógeno en la Hacienda San Antonio.

Los objetivos específicos fueron: Previo al ensayo, caracterizar las condiciones hidrofísicas del suelo (textura, estructura, densidad aparente, velocidad de infiltración, punto de marchitez y capacidad de campo) y describir el perfil del mismo.

Durante el ensayo establecer la variación de la humedad del suelo en los arreglos de siembra directa y labranza convencional.

Al final del ensayo determinar los cambios, químicos (S, B, P, MO, N y K) y biológicos (meso y macro fauna del suelo), comparados con el estado inicial del ensayo.

Estudiar el efecto de los tratamientos sobre la fenología y rendimiento del cultivo en los dos ciclos de producción y analizar económicamente los tratamientos a probar, de acuerdo al presupuesto parcial de Perrín.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SIEMBRA DIRECTA O LABRANZA CERO

Según Martínez (2008), la labranza cero o labranza de conservación es un sistema de producción que reduce costos, siempre y cuando se implemente de manera adecuada. Esto es importante remarcarlo, ya que lo que se ahorra con no labrar, se puede perder con un mal control de malezas o una siembra inadecuada por mal manejo de los residuos.

Este sistema fue diseñado originalmente para áreas de temporal para conservar mejor la humedad del suelo y reducir pérdidas por erosión hídrica y eólica. Su utilización se está ampliando a zonas de riego con el objetivo adicional de reducir costos de producción e incorporar materia orgánica a los suelos (INIFAP-CIRNO, 2008). En este sistema la siembra se realiza sin labores previas de preparación del terreno, sobre los residuos de la cosecha anterior, por lo que requiere el uso de una desmenuzadora y sembradora cero labranza.

Esta labranza es un nuevo concepto en el uso y manejo de los suelos, el cual permite sembrar cualquier tipo de grano sin remover o labrar el suelo. En él se reemplazan herramientas tradicionales de trabajo como el arado, rastras, cinceles y cultivadoras por sembradoras capaces de cortar rastrojos y raíces, remover una línea de siembra para dejar la semilla adecuadamente ubicada en el suelo. Sin embargo, en repetidas ocasiones

la experiencia de los productores es negativa, debido a que se piensa que la labranza de conservación es una práctica agrícola que consiste en sembrar sobre los residuos, sin mover el suelo; olvidándose de las demás prácticas agrícolas que tienen que hacerse de manera diferente a partir del cambio en la forma de sembrar. De ahí la importancia de entender la labranza de conservación como un “sistema de producción” donde existen elementos como el clima, los suelos, insumos, maquinaria, etc., que hay que atender de manera adecuada (Martínez, 2008).

No siempre se puede lograr una forma eficiente de aumentar los rendimientos y reducir los costos aplicando este sistema, sin embargo la labranza de conservación cuando se practica de manera adecuada reduce la inversión por hectárea y aumenta el rendimiento por todos los beneficios que mejoran la capacidad productiva del suelo. Esto es lo deseable, pero requiere conocimiento técnico, constancia y mucha capacidad de observación para ir mejorando los aspectos que pueden impedir una mayor productividad (INIFAP-CIRNO, 2008).

2.1.1. Ventajas de la SD o LC

De Benito y Sacristan (2008), sostienen que hay tres pilares básicos desde el punto de vista agrícola, sobre los que se fundamenta la posible recuperación del equilibrio entre el CO₂ captado de la atmósfera y el desprendido desde el suelo y son:

- El aumento de la biomasa y de la producción de los cultivos por la introducción de nuevas variedades y rotaciones de los mismos, por un incremento de la eficiencia de los fertilizantes y por una ampliación de la superficie de regadío.
- El incremento de la materia orgánica del suelo y una menor tasa de mineralización, por tanto una menor liberación de CO₂.
- El ahorro de combustibles fósiles en la agricultura, disminuyendo las labores agrícolas y utilizando maquinaria de menor potencia.
- La reducción de los costos de producción, factor decisivo para permanecer en la producción de granos básicos, cuyo precio ya no es posible establecerlo localmente ante un mundo globalizado.

2.1.2. El rol de los Rastrojos en la Fertilidad del Suelo

Kuamr & Goh (2000), citado por Morón (2002), concluyen que no existe un único manejo de los rastrojos que sea superior a un fuerte problema de transmisión de enfermedades, vía rastrojos, en la que puede ser que una alternativa válida de manejo sea la quema o la incorporación de los mismos al suelo. Por otra parte, en regiones donde existe procesos erosivos significativos, déficit de agua en ciclos de cultivos o problemas de degradación de los suelos, la siembra directa con acumulación de rastrojos en superficie se constituirá en un manejo adecuado. El mismo que implica conocer los distintos efectos que se dan en el suelo así como la o las principales limitantes del sistema agrícola en consideración.

La constitución de los diversos materiales vegetales que entran al suelo es heterogénea, donde se establece que los constituyentes orgánicos de los mismos pueden ser divididos en 6 categorías: Fibra detergente neutra (FDN) compuesta por 1) Celulosa; 2) Hemicelulosa; 3) Lignina; 4) Fracción soluble al agua; 5) Fracción soluble al éter y alcohol y 6) Proteínas portadoras de la mayor parte de N (nitrógeno) y S (azufre) de los vegetales y la FDA que contiene los mismos constituyentes de la FDN excepto que excluye a la Hemicelulosa (Alexander, 1977; Acosta, 1994, citados por Morón, 2002). La descomposición de los rastrojos es un proceso similar a la fotosíntesis pero de signo contrario. La fotosíntesis captura C como CO₂ de la atmósfera y la descomposición restituye el C también como CO₂. En términos generales se considera que 20 a 40% del C del sustrato es transformado a C microbiano en condiciones aeróbicas. En este aspecto existen diferencias importantes entre los microorganismos. Según Alexander (1977), citado por Morón (2002), las menores eficiencias se encuentran en las bacterias anaerobias (2-5 %), valores intermedios en las bacterias aeróbicas (5-10 %) y las mayores eficiencias se registran en los hongos (30-40 %).

El crecimiento y desarrollo de los microorganismos inducidos por la presencia de un rastrojo o material vegetal implica la retención temporal de C y otros elementos como N, P, Ca, Mg, etc. La magnitud de las necesidades de N de los microorganismos dependerá de la cantidad de C ofrecido vía rastrojo, de la eficiencia de conversión del C rastrojo en C microbiano y de la relación C/N de los microorganismos. El N necesario para el crecimiento, desarrollo y reproducción de la mayoría de los microorganismos puede tener 2 orígenes: N constituyente del mismo rastrojo o N mineral (amonio, nitrato) presente en la solución del suelo. Cuando estos toman el N mineral del suelo para

convertirlo en proteína microbiana el proceso se denomina inmovilización (Morón, 2002).

2.1.3. Problemas del Rastrojo en SD

Un cultivo de maíz con labranza cero necesita realizar la deshierba respectiva; sin embargo, los rastrojos sobre el suelo presentan algunos problemas:

Pasan a constituir un impedimento físico para el paso de la sembradora como para la emergencia de la planta, liberan compuestos químicos que provocan inhibición en la germinación de semillas en algunas especies (alelopatía). Implica también una barrera para la llegada del fertilizante al suelo, lo que puede ocasionar pérdidas temporarias de N por intercepción y/o inmovilización microbiana. Asimismo se puede perder por volatilización cuando la fuente es Urea (Trucco *et al.*, 1998). Proceso que sucede igualmente con el control de malezas, especialmente en la aplicación de herbicidas en el suelo, puesto que este se deposita primero en el rastrojo y queda absorbido en la materia orgánica (Bizet, 2000).

La relación C/N (carbono/nitrógeno) es muy alta, provoca “hambre de N” en el suelo, efecto debido al alto contenido de materia orgánica aportada al suelo, la actividad de los microorganismos es intensa y sus necesidades de nitrógeno son elevadas; por lo que las

plantas sufren una competencia muy fuerte por parte de estos microorganismos, lo que se manifiesta en signos de deficiencia (Morón, 2002).

2.2. EFECTOS DE LA SIEMBRA DIRECTA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

La mayoría de los estudios muestran una influencia positiva de la siembra directa (SD) sobre los contenidos de materia orgánica (MO) y de esta sobre propiedades físicas de los suelos: densidad aparente, susceptibilidad a la compactación, distribución de tamaño de agregados, estabilidad estructural, resistencia a la penetración, retención de agua, etc. Se debe considerar que la condición inicial de los suelos que se incorporan a SD pueden anular efectos positivos de este sistema sobre los contenidos de MO y propiedades físicas asociadas (Quiroga *et al.*, 2000).

Ferrari (1997), citado por Quiroga *et al.* (2000), indica que la condición física del suelo al momento de entrar en el SD es uno de los factores más importantes a considerar en el área de influencia. Las posibilidades de producir efectos favorables en el suelo estarían estrechamente relacionadas a la condición de degradación inicial. Por lo que resulta prioritario en el estudio de las relaciones suelo-labranza, reconocer las propiedades edáficas que mejor discriminan los efectos del manejo para las condiciones de cada región. Además de comprobar que los suelos bajo rotación de pasturas perennes-cultivos anuales presentan significativamente mejores condiciones iniciales para establecer SD que suelos provenientes de agricultura continua.

2.3. SIEMBRA DIRECTA EN MAÍZ

Según Lorenzatti *et al.* (2000), el sistema de siembra directa, permite a través de la cobertura aportada por los rastrojos y por la mejora del ambiente edáfico lograr una mayor disponibilidad de agua útil para los cultivos. Aumentos de la materia orgánica en un 1 % en los primeros 20 cm de suelo pueden provocar incrementos positivos de 6 mm de agua útil en el volumen de suelo considerado. A su vez es común que durante el ciclo del cultivo el suelo sufra varias veces recargas y consumos del agua acumulada. En consecuencia, ese plus de 6 mm se potencia varias veces, por ej. 4 a 5 veces durante el ciclo de cultivo del maíz. Por lo tanto, considerando la alta eficiencia de uso del agua que hace el cultivo de maíz tendremos respuestas, para esta situación, de alrededor de 600 kg de grano ha⁻¹. Esa mayor eficiencia en el uso del agua que la siembra directa realiza no solo permite maximizar rendimientos, sino que también permite tener un "piso de producción" más alto; o dicho de otra manera aumenta la estabilidad de producción. Si pensamos que el agua es el recurso que principalmente limita la producción en sistemas agrícolas de secano, el cultivo de maíz encuentra en la siembra directa el ambiente apropiado para maximizar su producción y estabilizarla a través de los años. Obviamente, la no remoción del suelo y el hecho de mantener la cobertura en superficie, deberán ir acompañados de medidas de manejo tendientes a potenciar las cualidades de ese ambiente, como ser asegurar una nutrición balanceada, adecuado arreglo espacial de las plantas por unidad de superficie, período libre de malezas, barbechos limpios, mínimo impacto de plagas y enfermedades, entre otras (Lorenzatti *et al.*, 2000).

2.4. LA MATERIA ORGÁNICA EN LA SIEMBRA DIRECTA

Los horizontes superficiales de los suelos sometidos a laboreo, suelen contener entre el 1 y 3 % de materia orgánica pero este contenido es con frecuencia más elevado en los suelos de pradera y en los forestales, especialmente si tiene un drenaje insuficiente, además disminuye rápidamente con la profundidad. La relación C/N total también suele disminuir al descender en el perfil del suelo y pueden encontrarse valores de 5 o próximos a este valor, en profundidades en torno a 1m, parte de esta reducción y en ocasiones toda ella se debe a la presencia de NH_4^+ fijado. El contenido de carbono orgánico de la mayor parte de los suelos disminuye con la profundidad, pero el contenido de NH_4^+ fijado permanece sensiblemente constante o incluso, puede aumentar, con lo que la relación C/N se reduce claramente (Wild, 1992).

Ordóñez *et al.* (2002), sostienen que la materia orgánica presente en el suelo es el resultado del balance entre los aportes y las pérdidas de toda índole, incluida la erosión. Cuando se voltea un suelo se incrementan notablemente las pérdidas de materia orgánica puesto que se acelera su descomposición, al incorporar los restos orgánicos frescos a un medio donde existen unas condiciones de humedad y aireación óptimas para la proliferación de microorganismos. Por otra parte, el laboreo destruye muchos macro agregados que quedan expuestos al ataque de los microorganismos. El efecto de la SD sobre la MO está relacionada con la secuencia de cultivos, manejo de residuos, textura del suelo y condiciones ambientales asociadas (Quiroga *et al.*, 2000).

2.4.1. Importancia de la Materia Orgánica

El progresivo aumento de la materia orgánica en los primeros centímetros del perfil incrementa las reservas de nutrientes que pueden ser liberados paulatinamente, a un ritmo distinto al experimentado en los suelos labrados (Fox y Bande 1987, citados por Ordóñez *et al.*, 2002).

Considerando que la materia orgánica es reserva de numerosos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, contiene aproximadamente un 58 % de carbono (C) y presenta una relación C/N/P/S estimada en 140:10:1,3:1,3. A partir de esta información, se estima que cada 1 % de materia orgánica en 20 cm de suelo con densidad de 1,1 t/m³, contiene 22000 kg de materia orgánica por ha⁻¹, 12000 - 13000 kg de C ha⁻¹, 1000 - 1200 kg de N ha⁻¹, 90 - 120 kg de P ha⁻¹, y 90 - 120 kg de S ha⁻¹. Dados los contenidos de nutrientes en la materia orgánica, la misma actúa como fuente y destino de los nutrientes en el sistema. Es así que en situaciones de balance de nutrientes negativos, cuando la exportación de nutrientes en productos de cosecha (granos y forrajes) es superior al aporte vía abonos orgánicos y fertilizantes, los niveles de materia orgánica disminuyen aportando los nutrientes necesarios para los cultivos. Esta situación se observa frecuentemente cuando se comienza a cultivar un área nueva con disminuciones importantes de materia orgánica en los primeros años que liberan cantidades importantes de nutrientes (García, 2002).

Los cambios en cantidad y distribución de materia orgánica y propiedades físicas y químicas del suelo resultan en efectos directos e indirectos sobre la dinámica de las poblaciones microbianas. En definitiva, los efectos sobre los microorganismos del suelo se reflejan en la dinámica del N que es gobernada por la actividad microbiana del suelo (García y Fabrizzi, 2001).

2.4.2. Beneficios de la Materia Orgánica en el Suelo

García (2002), considera la materia orgánica como el más importante indicador de la calidad de suelo, y la importancia radica en su relación con numerosas propiedades del suelo:

- Físicas: Densidad, capacidad de retención de agua, agregación y estabilidad de agregados, color y temperatura.
- Químicas: Reserva de nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y otros, pH, capacidad de intercambio catiónica, capacidad tampón, formación de quelatos.
- Biológicas: Biomasa microbiana, actividad microbiana (respiración), fracciones lábiles de nutriente.

2.5. MESO Y MACRO FAUNA DEL SUELO EN SIEMBRA DIRECTA

El laboreo o la falta del mismo, ejerce influencia en los habitantes del suelo a través de tres mecanismos principales: perturbación mecánica, disposición espacial de los residuos

vegetales y los efectos en las comunidades de las malezas (Wild, 1992; y Castiglioni, 2000).

La siembra directa genera un ambiente especial para la supervivencia y desarrollo de organismos edáficos que constituyen la mesofauna (Nematodos, Colémbolos y Acaros (microartrópodos)) y macrofauna (Oligochaeta (lombriz y gusanos enquitreidos) y Artrópodos mayores como: Díptera (larvas de moscas), Coleoptera (escarabajos adultos y larvas), Diploda (milpiés), Isopodos, Lepidoptera (orugas), Isoptera (termitas), Chilopoda (ciempiés), Hymenoptera (hormigas), Mollusca (babosas y caracoles) y Arañas) (Wild, 1992).

La mesofauna, participa en los procesos de descomposición y mineralización de los residuos orgánicos y la macrofauna además, modifica la estructura del suelo mediante la formación de macroporos y agregados (Linden et al., 1994, citados por Gizzi *et al.*, 2002).

El tamaño de la fauna edáfica depende a la vez del alimento disponible y de las condiciones físicas del suelo. Dicha fauna necesita de un medio bien aireado para su crecimiento activo no pudiendo soportar los suelos inundados ni los compactados. El complejo ecosistema degradador del material biológico del suelo se mantiene, básicamente, de los tejidos vegetales muertos que se incorporan al suelo por la caída de hojas, el enterramiento de residuos de cosechas o los aportes de estiércol. Esto hace que en ocasiones, sea difícil definir lo que se entiende por animal edáfico, ya que en el

término se incluye tanto los que se encuentran sobre los residuos superficiales como los que habitan en el interior del suelo (Wild, 1992).

Para valorar la importancia de la fauna edáfica en la descomposición de la materia orgánica del suelo se mide, habitualmente, su actividad respiratoria. En estos casos, la influencia de la fauna parece ser pequeña, pues se estima que normalmente representa del orden el 5 % de la actividad total de los degradadores. Sin embargo, actualmente se sabe que tales medidas puedan enmascarar la verdadera importancia ecológica de la fauna edáfica en los procesos de degradación. Estos animales del suelo juegan un papel importante en la trituración de los residuos vegetales y las formas mayores, como las lombrices, son muy eficaces mezcladoras de la materia orgánica superficial con el suelo más profundo (Wild, 1992).

Los microartrópodos también se incluyen en la fauna edáfica; se dividen en dos grupos:

- 1) Los que se presentan habitualmente sobre la superficie de los suelos o en la capa de residuos, llamados semiedáficos, caracterizados por poseer ojos bien desarrollados, largos apéndices, cuerpos bien quitinizados, pigmentación marcada y claramente adaptados a una forma de vida desarrollada en hábitats relativamente abiertos; y
- 2) Las formas eudáficas, animales especializados para la vida en horizontes más profundos del suelo, a menudo carecen de ojos y de pigmentos, poseen cuerpos blandos y pequeños apéndices.

La participación de microartrópodos edáficos en la descomposición de la materia orgánica y en el reciclado de los elementos nutritivos en el suelo, es un tema sobre el

que se ha especulado mucho y sobre el que se han realizado numerosos estudios. Se ha sugerido que su participación consiste en triturar los residuos vegetales y en la de alimentarse con hifas de hongos (Wild, 1992).

Las formas mayores como las lombrices son grandes estimuladores de la vegetación mediante su acción minadora y disgregadora del suelo, la ingestión de hojas, raíces y la eliminación de residuos. Alcanzan sus poblaciones más numerosas en pastizales y bosques caducifolios; áreas tropicales y zonas áridas subtropicales las lombrices escasean y su papel en el suelo está asumido por las termitas y en cierta forma por las hormigas. Es probable que las lombrices se alimenten, selectivamente, a partir de materia orgánica en la que la relación C/N haya sufrido alguna reducción. Independientemente de la importancia de las lombrices como mezcladoras del suelo, su papel como degradadoras de la materia orgánica es más difícil de evaluar. Se estima que contribuyen solamente con un 4 – 5 % a la actividad metabólica de la población viva del suelo, pero como originan un medio bien desmenuzado que favorece la acción posterior de la población microbiana, puede muy bien tener una influencia mucho mayor sobre el metabolismo global en el suelo. La actividad minadora de las lombrices influye claramente en el drenaje y en la aireación del suelo y se ha comprobado que la incorporación de estas produce un aumento notable en la velocidad de infiltración del agua e inversamente la eliminación de las mismas reduce aquella a un tercio (Wild, 1992). En suelos con cultivos anuales las lombrices pueden mantenerse en un nivel similar al de los suelos con praderas. Numerosos autores han estudiado el efecto de la siembra directa y los resultados han sido resumidos por (Eduards 1983, citado por Wild,

1992), donde las poblaciones de lombrices en diferentes condiciones en las que se compara la siembra directa con otros métodos de cultivo son afectadas por el laboreo tradicional sobre las poblaciones dando una mortalidad por el efecto mecánico del 25 % y el efecto de depredadores como son las aves al ser levantadas por el arado (Wild, 1992).

Otros animales de la fauna edáfica son los artrópodos mayores como los isópodos, ciempiés y milpiés, larvas y en ocasiones adultos de insectos como escarabajos, moscas, termitas, hormigas que son las que más abundan y arañas. La mayoría de ciempiés son activos depredadores alimentándose de otros componentes de la fauna del suelo, algunos milpiés son capaces de digerir la celulosa, mientras que otros no y necesitan consumir hojarasca para obtener la energía que necesitan, por esta razón, pueden ser muy importantes trituradores y mezcladores de residuos con partículas del suelo. Las hormigas y termitas anidan en el suelo, algunas hacen galerías y cámaras, mientras que otras hacen montones fuera del suelo o en su interior, pero sin mezclar la materia orgánica como hacen las lombrices, pero la actividad que aportan puede tener un efecto importante sobre la aireación y el drenaje de los suelos y en este sentido pueden presentar una eficacia similar a la de las lombrices en la mejora de las condiciones físicas del suelo (Wild, 1992 y Castiglioni, 2000). Estos mismos autores llegan a la conclusión que el laboreo y el no laboreo es un factor determinante de la distribución y abundancia de los organismos invertebrados, sin embargo esta práctica interactúa significativamente si se realiza o no con otras prácticas agronómicas.

2.6. DINÁMICA DE NUTRIENTES Y FERTILIZACIÓN EN SIEMBRA DIRECTA

La SD produce varios cambios en las condiciones del suelo y de crecimiento de los cultivos. Estos cambios afectan la disponibilidad de nutrientes a diferentes profundidades del suelo, la temperatura y contenido de agua de los suelos, el crecimiento y distribución de los sistemas radiculares, la absorción de nutrientes por parte de los cultivos y la eficiencia de uso de los fertilizantes aplicados. La percepción de serios problemas potenciales en el manejo de la fertilidad en SD puede retrasar la adopción de esta técnica. Los problemas de manejo de la fertilización nitrogenada y fosfatada en sistemas de cero labranza incluyen inapropiada extrapolación de la interpretación de disponibilidad de nutrientes desde laboreos convencionales, inapropiada técnica de muestreo de suelos e ineficiencia en la ubicación de fertilizantes (Bordoli, 2001).

2.6.1. Nitrógeno en SD

El N es considerado el nutriente más importante para la producción vegetal por las cantidades requeridas por los cultivos y por la frecuencia con que se observan deficiencias en suelos agrícolas, es así, que la agricultura de altos rendimientos depende del uso de fertilizantes nitrogenados. La introducción de labranzas conservacionistas, fundamentalmente la labranza cero o siembra directa, genera cambios en el ambiente edáfico que afectan las transformaciones de N en el suelo. La presencia de residuos en la superficie y la falta de remoción alteran algunas propiedades físicas que influyen directa

e indirectamente en la dinámica del N (Marelli y Arce, 1996; Ferreras et al., 1999 y 2000, citados por García y Fabrizzi, 2001).

2.6.1.1. Mineralización-inmovilización

Según Kitur *et al.* (1984); Rice y Smith (1984); Salet *et al.* (1997), citados por Bordoli (2001), en sistemas de cero laboreo la mineralización de la MO del suelo se ve reducida, y la no incorporación de los residuos retarda la mineralización de los mismos, dependiendo de la cantidad de residuos, del tipo de residuos tanto en su forma física (tamaño, densidad y diámetro) como en su composición química (relación C/N, contenido de lignina, etc.), y de las condiciones climáticas. El aumento en los requerimientos de fertilizante N se debe no sólo a la menor mineralización de los restos y de la materia orgánica del suelo, sino también a la inmovilización de N ya que en los primeros años usualmente hay una ganancia neta de materia orgánica del suelo. La inmovilización del N es más acentuada cuando este es aplicado en superficie (Bordoli, 2001; García y Fabrizzi, 2001)

2.6.1.2. Lixiviación del nitrógeno

La mayor infiltración de lluvias, el mayor almacenaje de agua en el perfil, junto a la menor evaporación resultan en un aumento en el potencial de lixiviación de nitratos. Por otro lado, el cero laboreo conduce al largo plazo a una mayor cantidad y continuidad de macro poros (poros realizados por meso fauna y canales dejados por raíces) lo que unido

a la mayor infiltración aumenta el riesgo de pérdidas por lixiviación a través de flujo preferencial de fertilizantes aplicados sobre la superficie del suelo (Sharpley y Smith 1993, citados por Bordoli, 2001).

2.6.1.3. Desnitrificación

Es la reducción biológica de NO_3 a formas gaseosas que se pierden en la atmosfera, la mayor humedad y menor aireación beneficia el desarrollo de desnitrificadores y por lo tanto, se prevé un mayor potencial de desnitrificación en SD que en LC (Bordoli, 2001; García y Fabrizzi, 2001).

Doran (1980), citado por Bordoli (2001), indica que debido a la mayor humedad, a la menor fluctuación de la temperatura diaria, y la mayor acumulación de residuos orgánicos en la superficie del suelo, usualmente hay mayor actividad microbiana en superficie de los suelos bajo cero laboreo comparados con suelos bajo laboreo convencional. Normalmente hay también una mayor presencia de bacterias anaerobias lo cual resulta en menor potencial de oxidación y mayores pérdidas de NO_3^- por desnitrificación en suelos no laboreados (Linn, 1984 citado por Bordoli, 2001).

2.6.1.4. Volatilización de amonio

Así mismo, las oportunidades de incorporación de fertilizantes nitrogenados en el suelo debajo de la capa de residuos se ve limitada en este sistema, por lo cual las pérdidas por

volatilización de NH_3 cuando se aplican fertilizantes amoniacales en superficie se ven incrementadas (Keller y Mengel, 1986; Urban *et al.*, 1987; Stecker *et al.*, 1993, citados por Bordoli, 2001). Esto es especialmente importante al aplicar urea ya que produce un pH alcalino en la zona de disolución. La urea aplicada al suelo se hidroliza a NH_4^+ en una reacción catalizada por la enzima ureasa, la hidrólisis de la urea resulta en el consumo de H^+ con el consiguiente aumento del pH a valores de 9 o superiores, lo que favorece la formación de NH_3 y por lo tanto, la volatilización. Las alternativas de manejo de fertilizantes para reducir la volatilización incluyen la incorporación del fertilizante, la concentración en bandas superficiales para reducir el contacto con el suelo y/o residuo, el uso de inhibidores de la ureasa o la aplicación con el agua de riego (García y Fabrizzi, 2001).

2.6.1.5. Aplicación de fertilizantes nitrogenados

Si bien las pérdidas de N asociadas a impactos de mineralización de materia orgánica pueden verse reducidas en cero laboreo (ya que se elimina el impacto de mineralización producido por el laboreo cuando no hay cultivos creciendo y absorbiendo nitrógeno), la forma, fuente y momento de aplicación de fertilizantes toma mayor relevancia para aumentar su eficiencia al aumentarse las potenciales pérdidas de eficiencia por inmovilización de fertilizantes en superficie, volatilización de NH_3 y lixiviación de NO_3^- (Bordoli, 2001).

2.6.1.6. Dosis de fertilizante nitrogenado

Bordoli (2001), sostiene que la dosis de fertilizante N a agregar a un cultivo debe determinarse en base a la diferencia existente entre lo requerido por el cultivo y lo suministrado por el suelo. El fertilizante a agregar es un complemento a lo que aporta el suelo. Usualmente se han reportado mayores requerimientos de fertilizantes nitrogenados en siembra directa, al menos hasta que el suelo logre un nuevo equilibrio en materia orgánica, lo que muestra mayores respuestas al agregado de nitrógeno al inicio de un sistema de siembra directa (Sawchik, 1991,1992; citado por Bordoli, 2001).

2.6.1.7. Fraccionamiento

Las menores temperaturas del suelo tienden a retrasar la germinación, emergencia, y crecimiento temprano de los cultivos en siembra directa. Además, el laboreo y la cobertura del suelo por residuos afecta la tasa y el patrón de desarrollo, la morfología y el tamaño de los sistemas radiculares. Los suelos bajo cero laboreo presentan diferente distribución vertical de nutrientes inmóviles (P y K), materia orgánica, actividad microbiana, y raíces de los cultivos. También, la descomposición de residuos orgánicos en la superficie y subsecuente lavado de los resultantes ácidos orgánicos junto con la nitrificación de fertilizantes amoniacales aplicados en superficie, puede producir una capa ácida (1 a 5 cm de espesor) en la superficie de suelos minerales luego de varios años de manejo bajo labranza cero.

Estos cambios en contenido y distribución de materia orgánica, pH, y potencial de oxidación afectan la dinámica y disponibilidad de P y N aplicados en superficie, y la eficiencia de uso de los fertilizantes; esto indicaría que el fraccionamiento del fertilizante nitrogenado sería más importante en SD para mejorar el uso del fertilizante al medir la disponibilidad de nitrógeno con los mayores requerimientos del cultivo (Bordoli, 2001; García y Fabrizzi, 2001).

2.6.1.8. Formas de aplicación y fuente

Griffith *et al.* (1977), citado por Bordoli (2001), indica que debido a las mayores probabilidades de pérdida de nitrógeno en labranza cero, en aplicaciones en cobertura sobre la superficie del suelo sería conveniente la aplicación de fertilizante nitrogenado localizado e incorporado por debajo de la capa de residuos. Esta localización disminuiría las pérdidas de eficiencia por inmovilización en los residuos, volatilización de amonio y lixiviación por flujo preferencial. Esta localización mejoraría además la disponibilidad posicional del fertilizante, al aplicarse cerca de las raíces del cultivo. En el caso de no disponer de implementos para esta aplicación localizada cerca de la semilla (o de la planta en el caso de fraccionamientos), podría ser conveniente la aplicación de nitratos de amonio (NO_3NH_4^+) en vez de urea para reducir posibles pérdidas por volatilización de amonio, si el aumento en eficiencia justifica el mayor costo de la unidad de nitrógeno proveniente de esta fuente.

2.6.2. Fósforo y potasio en SD

En SD se produce una acumulación de P en los primeros centímetros de suelo, lo que dificultaría su absorción por parte de las raíces, aunque el mayor contenido de humedad en superficie en este sistema favorecería la exploración de las mismas en dicho estrato (Barbagelata y Papparotti, 2000). La falta de incorporación de las aplicaciones en superficie de fertilizantes fosfatados y potásicos y de residuos de cultivos, junto con el ciclaje de nutrientes a través de la absorción de los cultivos desde capas más profundas del suelo produce estratificación de estos nutrientes inmóviles en la superficie del mismo (García, 1997 y Bordoli, 2001). Esta estratificación junto a cambios en las relaciones cantidad/intensidad de profundidad (derivados de los cambios en pH, MO, etc.) resultan en que los cultivos presentan una alta dependencia de estos nutrientes concentrados en los primeros centímetros de suelo.

Existe preocupación de que la acumulación de P y K cerca de la superficie pueda resultar en menor disponibilidad para las plantas dada la mayor probabilidad de condiciones secas del suelo en superficie. La ocurrencia de déficit de agua en los primeros centímetros del suelo dependerá no solo de las condiciones climáticas, sino también y en gran medida de la cantidad y tipo de residuos en superficie que afectaran la tasa de evaporación (Yibirin *et al.*, 1993, citado por Bordoli, 2001). Investigadores de las áreas del sur y este del cinturón de maíz en EEUU han reportado que no existiría disminución en la disponibilidad de nutrientes inmóviles debido a la estratificación superficial de los mismos bajo SD, al menos durante estaciones normales de crecimiento

(Singh *et al.*, 1966; Molscher y Martens, 1975; y Belcher y Ragland, 1972; citados por Bordoli, 2001). El éxito de la aplicación en superficie ha sido atribuido al incremento en la actividad radicular en esta zona de alta fertilidad debido al alto contenido de humedad bajo la capa de residuos vegetales y adecuada lluvia recibida durante la estación de crecimiento. Sin embargo si la superficie del suelo se seca, las raíces se vuelven inactivas, los nutrientes reducen su disponibilidad y la absorción por los cultivos se verá reducida, especialmente si las capas más profundas del suelo poseen baja disponibilidad de nutrientes, sugiriendo que puede ser un problema más significativo en zonas secas particularmente para K (Bordoli, 1996; Bordoli y Mallarino, 1998; citados por Bordoli, 2001).

2.7. CONTROL DE MALEZAS EN SIEMBRA DIRECTA

Según García y Mejía (2005), el maíz renglón principal de la revolución verde, ha sido, el cultivo de mayor experimentación y siembra comercial bajo los sistemas de labranza conservacionistas específicamente de siembra directa. En el trópico, donde los agentes erosivos son más agresivos y los suelos son susceptibles a la degradación, este sistema es de amplio futuro. Sin embargo, las malezas constituyen una de las principales limitantes para la expansión de la misma.

Violic *et al.* (1982), citado por Munro *et al.* (1994), encontraron que al comparar el sistema de labranza cero, con el tradicional, resultó que los rendimientos fueron similares bajo ambos sistemas, pero que el sistema de labranza cero combinado con herbicidas apropiados, constituye un sistema efectivo de manejo para el maíz. En la

investigación realizada por Munro *et al.* (1994) los mayores porcentajes de control se obtuvieron con los tratamientos Atrazina + Metolaclor 1,25 + 1,25 kg ha⁻¹ aplicados en pre-emergencia complementados con la aplicación en post-emergencia de Nicosulfurón a 0,045 kg ha⁻¹ o bien con la aplicación dirigida al follaje de la maleza de Paraquat a 0,5 L ha⁻¹ en climas cálidos semi secos y sub húmedos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Ubicación Política

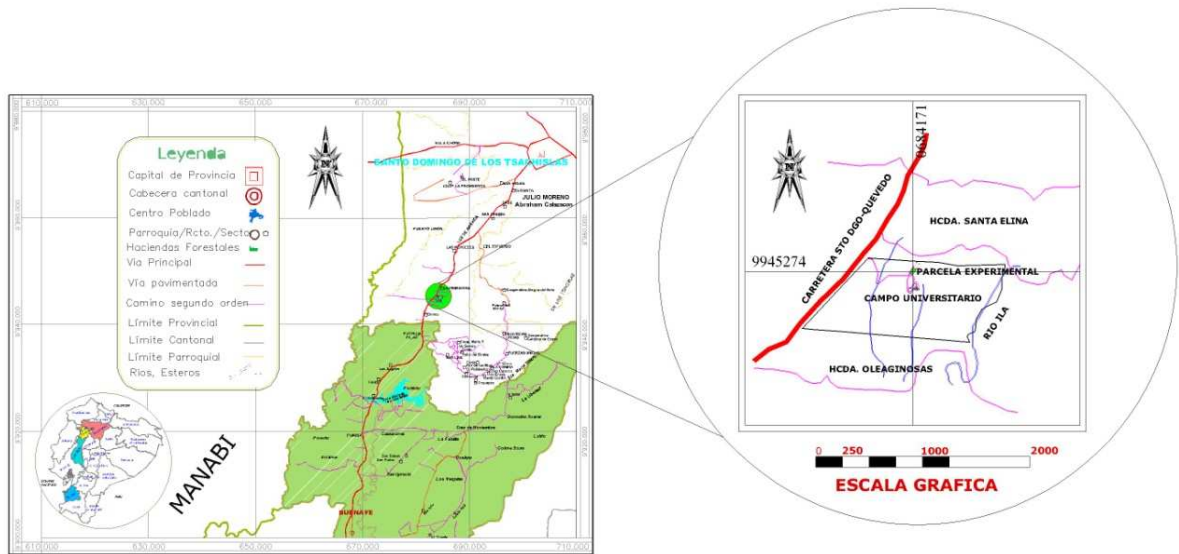
| | |
|------------|------------------------------------|
| País: | Ecuador |
| Provincia: | Santo Domingo de los Tsáchilas |
| Cantón: | Santo Domingo |
| Parroquia: | Luz de América |
| Predio: | Hacienda San Antonio |
| Dirección: | Km 35 Vía Santo Domingo – Quevedo. |

3.1.2. Ubicación Geográfica

Coordenadas:

17 M = 0684171

UTM = 9945274




|  CAMPUS POLITÉCNICO ESPE HDA. SAN ANTONIO | | | | |
|--|---------------|----------------|----------------------------|--------------------|
| Provincia | Cantón | Parroquia | Area del ensayo | |
| Sto Dgo T'sachilas | Santo Domingo | Luz de América | Lamina 1 | 1674m ² |
| Escala Carga Geográfica 1:50000 Luz de América | | | Escala: 1:5000 | Madai Acosta |
| Mayo de 2011 | | | Instrumental: DPGS MOBBILE | Omar Galárraga |

Figura 1. Mapa de la ubicación geográfica del lugar del ensayo

3.1.3. Ubicación Ecológica

| | |
|---------------------|--|
| Zona de vida: | Bosque húmedo tropical (bh-T) (L. Holdridge) |
| Altitud: | 270 msnm |
| Temperatura: | 25,6 °C |
| Precipitación: | 2900 mm/año |
| Humedad relativa: | 88 % |
| Heliofanía: | 680 horas sol/año |
| Suelos: | Franco areno limoso |
| Evapotranspiración: | 83 mm/mes |

3.1.4. Historia Agrícola del Sitio de Ensayo

El sitio del ensayo fue cultivado con palma africana aproximadamente veinte años, luego de su remoción se cultivo ciclo corto durante los últimos 5 años, en este caso maíz y arroz en rotación con métodos convencionales de preparación de suelo.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materiales de Campo

- Semilla certificada maíz
- híbrido INIAP H – 551
- 37 Rótulos de identificación
- Cinta Métrica de 50 m
- Tanque de 200 L
- Alambre de púas
- Balanza
- Tabla de Munsell
- Anillo para insectos (150 mm * 20 cm)
- 1 juego de anillos de infiltración
- Barreno de Presler

3.2.1.1. Equipos

- 2 Bombas de mochilas manuales
- Moto guadaña
- Tractor con rastra

3.2.1.2. Insumos

- Herbicidas
 - Glifosato (Ranger, Glifopac)
 - Atrazina
 - Paracuat (Cerillo)
 - Amina (Ecuamina)
 - Accent
 - Aderente (Nu-film)
- Insecticidas
 - Semevin (Thiodicarb)
 - Lambachialotrina
 - Atakil (Fluramin)
- Metomilo
- Fungicida
 - phyton
- Fertilizante edáfico
 - Urea
 - Súper Fosfato Triple
 - Fosfato Monoamónico
 - Sulfato de Magnesio
 - Muriato de Potasio

3.2.2. Materiales de Laboratorio

- Estufa
- Balanza electrónica
- Guantes
- Probetas
- Morteros
- Mezcladoras
- Microscopio compuesto
- Microscopio con cámara incluida
- Estereo microscopio
- Pinceles
- Alfileres
- Tubos de ensayo
- Cajas Petri
- Vasos de precipitación

- Densímetro
- Ph-metro
- Medidor digital de humedad de grano
- Alcohol 70%
- Bandejas de plástico con tapas

3.2.3. Materiales de Oficina

- Equipo de computación. (PC)
- Impresora
- Cámara fotográfica
- Suministros de oficina.(Papel bond, carpetas, lápices, etc.)
- Libreta de campo.

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Diseño Experimental

3.3.1.1. Factores a probar

Ciclos de siembra

- 1^{er} (6 de Abril 2010 a 4 de Agosto 2010) ----- c₁
- 2^{do} (3 de Septiembre 2010 a 27 de Diciembre 2010)----- c₂

Arreglos de siembra

- Hilera simple (0,8 m x 0,5 m, dos semillas x hoyo) ----- s₁
- Hilera doble (0,25 m x 0,75 m x 0,4 m, una semilla x hoyo)--- s₂

Los dos arreglos utilizaron una población de 50.000 plantas ha⁻¹

Formas de aplicación del nitrógeno (urea)

- Aplicación al pie de cada planta ----- n₁
- Aplicación al pie de cada planta + foliar (urea) ----- n₂
- Aplicación con espeque ----- n₃
- Aplicación con espeque + foliar (urea) ----- n₄
- Aplicación en drench ----- n₅

El tratamiento testigo consistió en labranza convencional, con distanciamientos de 0,8 m entre hileras, 0,4 m entre plantas, colocando dos semillas por sitio para un total de 62 500 planta ha⁻¹.

3.3.1.2. Tratamientos a comparar

Se evaluaron once tratamientos en el ciclo 1 como en el ciclo 2, los mismos que se indica en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos del ensayo

| TRATAMIENTO N° | CÓDIGO | DESCRIPCIÓN |
|----------------|-------------------------------|---|
| T1 | s ₁ n ₁ | Arreglo hilera simple, aplicación de urea al pie de la planta. |
| T2 | s ₁ n ₂ | Arreglo hilera simple, aplicación de urea al pie + foliar. |
| T3 | s ₁ n ₃ | Arreglo hilera simple, aplicación de urea con espeque. |
| T4 | s ₁ n ₄ | Arreglo hilera simple, aplicación de urea con espeque + foliar. |
| T5 | s ₁ n ₅ | Arreglo hilera simple, aplicación de urea en drench. |
| T6 | s ₂ n ₁ | Arreglo hilera doble, aplicación de urea al pie |
| T7 | s ₂ n ₂ | Arreglo hilera doble, aplicación de urea al pie + foliar. |
| T8 | s ₂ n ₃ | Arreglo hilera doble, aplicación de urea con espeque. |
| T9 | s ₂ n ₄ | Arreglo hilera doble, aplicación de urea con espeque + foliar. |
| T10 | s ₂ n ₅ | Arreglo hilera doble, aplicación de urea en drench. |
| T11 | Testigo | Con labranza y labores convencionales. |

3.3.1.3. Repeticiones o Bloques

El ensayo se realizó con tres repeticiones por cada tratamiento.

3.3.1.4. Tipo de diseño

Se utilizó un Esquema Bifactorial A x B + 1 (2 x 5 + 1) dispuestos en bloques completos al azar, con un Análisis de Varianza compuesto por los ciclos de maíz, para medir el efecto de los tratamientos, arreglos y ciclos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo. En el resto de variables se aplicó regresiones lineales y comparaciones.

3.3.1.5. Características de la unidad experimental

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Número de unidades experimentales: | 33 por ciclo de siembra |
| Área Total de las UE: | 45 m ² |
| Largo: | 9 m |
| Ancho: | 5 m |
| Forma de la UE: | Rectangular |
| Área de parcela neta por UE: | 14 m ² |
| Área total del ensayo: | 1674 m ² |
| Largo: | 62 m |
| Ancho: | 27 m |
| Área neta del ensayo: | 1176 m ² |
| Forma del ensayo: | Rectangular |

3.3.1.6. Disposición del cultivo en el campo

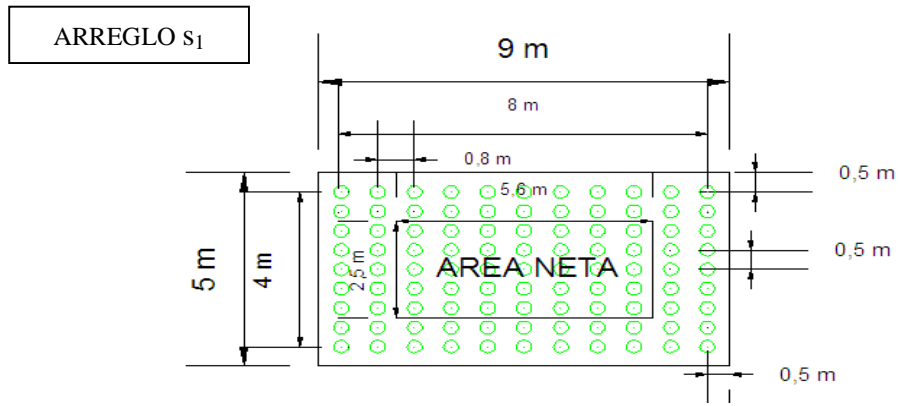


Figura 2. Arreglo de hilera simple

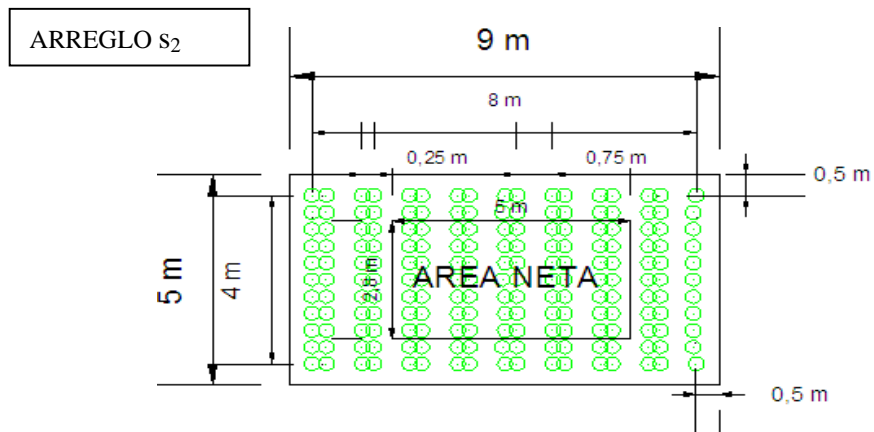


Figura 3. Arreglo de hilera doble

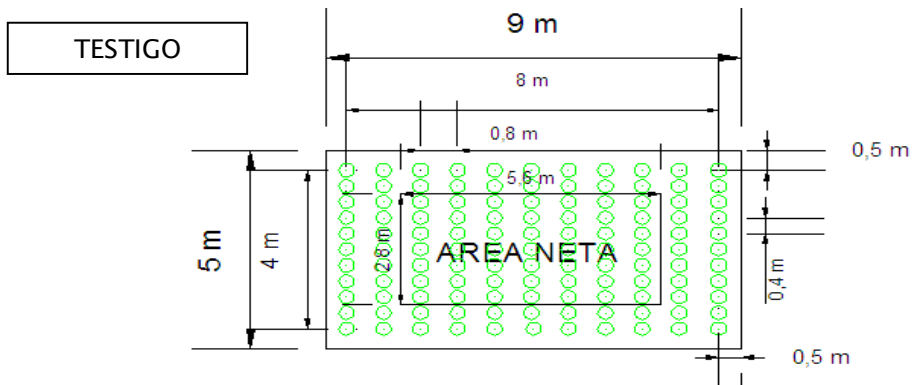


Figura 4. Arreglo de siembra en el testigo (labranza convencional)

Por efecto de los arreglos de siembra, las dimensiones y la superficie de la parcela neta varió. En hilera simple la parcela neta fue de 5,6 x 2,5 m (14 m²) y en hilera doble la parcela neta fue de 5 x 2,8 m (14 m²), en el testigo la parcela neta fue de 5,6 x 2,8 m (15,68 m²), ajustándose el resultado a una superficie de 14 m² (Figura 2, 3 y 4).

3.3.2. Análisis Estadístico

3.3.2.1. Esquema de análisis de varianza

Cuadro 2. Análisis de varianza

| Fuente de Variación | Grados de Libertad |
|--------------------------------|--------------------|
| Repeticiones | 2 |
| Factor A (arreglo) | 1 |
| Factor tipo B (aplicación) | 4 |
| Interacción A x B | 4 |
| Testigo vs. resto Tratamientos | 1 |
| Error | 20 |
| Total | 32 |

En la investigación se utilizó este esquema incluyendo los dos ciclos en un solo análisis, acotando que por efecto de analizar los datos obtenidos en los dos ciclos de cultivo se tomo a estos como si fuesen bloques; el cuadro del análisis de varianza del ensayo se observa en la Cuadro 3.

Cuadro 3. Análisis de varianza de los dos ciclos de maíz

| Fuentes de variación | Grados de Libertad |
|------------------------------|---------------------------|
| Modelo | 25 |
| Ciclo | 1 |
| Error a | 4 |
| Tratamientos | 10 |
| Arreglo siembra | 1 |
| Formas aplicación N | 4 |
| Arreglo siembra*Formas apli. | 4 |
| Test vs resto | 1 |
| Ciclo*Tratamientos | 10 |
| Ciclo*Arreglo siembra | 1 |
| Ciclo*Formas aplicación N | 4 |
| Ciclo*Arreglo siembra*Form.. | 4 |
| Ciclo * testigo | 1 |
| Error b | 40 |
| Total | 65 |

3.3.2.2. Coeficiente de variación

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$CV = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

CV= Coeficiente de variación

CMe= Cuadrado medio del error

\bar{x} = Media general del experimento

3.3.2.3. Análisis funcional

Se utilizó DMS al 5 % y la prueba de Tukey al 5 %.

3.3.3. Análisis Económico

Se aplicó el método del presupuesto parcial según Perrin *et al.* (1976), el cual se detalla en los resultados.

3.3.4. Metodología para la caracterización del paisaje y del perfil de suelo

Se analizaron las propiedades hidro-físicas, químicas y biológicas (meso y macro fauna) del suelo, lo que permitió definir una línea base para futuras investigaciones.

3.3.4.1. Características hidro – físicas del suelo

Se realizó mediante los siguientes parámetros:

- Descripción de paisaje y perfil del suelo.

La descripción del paisaje y del perfil de suelo del sitio de ensayo se basó en la Guía para la descripción de perfiles de Suelo de la FAO (2009). Se excavó una calicata de un metro treinta de profundidad en la cual se describió y midió cada horizonte, además se

identificó la coloración de los mismos con ayuda de la tabla de Munsell; y se tomó muestras para determinar textura y estructura.

- Textura

Se realizó por un método de aproximación por sedimentación que consistió en licuar el suelo con agua por 3 minutos para colocarlo en seguida en una probeta y al cabo de 8 días medir la sedimentación de la muestra. El procedimiento se hizo por cada horizonte, utilizando el triangulo de Attenberg o de textura, obteniendo los resultados en porcentaje.

- Estructura

Se determinó por observación con la ayuda de una lupa y por cada horizonte determinado en la calicata.

- Densidad Aparente

Se utilizó el método del hoyo a profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 cm, obteniendo resultados en g/cm^3 , se los realizó a un costado de la calicata en forma de gradas. Con la ayuda de una espátula y cuchara se realizaron los hoyos de 12 cm de diámetro aproximadamente, luego se recogió el suelo en una funda plástica para medir su masa en una balanza. En el mismo hoyo se introdujo cuidadosamente una funda plástica en la cual se vertió agua previamente medida, para conocer el volumen que ingresa, posteriormente se tomó 100 g de muestras de suelo de cada estrato para llevar a la

estufa y determinar el porcentaje de humedad en cada profundidad propuesta. Con los datos obtenidos se aplico la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{\text{Peso seco total}}{\text{Volumen de suelo}} = \frac{gr}{cm^3}$$

- Velocidad de infiltración

Se realizó mediante el método de los anillos de infiltración cuya técnica consistió primero en la limpieza del área a estudiar, luego se colocó el primer anillo que posee un diámetro de 45 cm y se introdujo a una profundidad de 15 cm, el segundo anillo de 25 cm de diámetro se colocó en el centro del primero y se introdujo hasta llegar a la cinta que se encuentra en la pared del anillo, seguido se añadió agua entre sus paredes, evitando regar en el centro, llenando hasta saturar de agua ese suelo, observando que no haya más filtración. Luego se colocó una funda plástica en el centro la cual se llenó de agua tratando que quede al ras del anillo y sincronizadamente se quitó la funda haciendo correr el cronometro para medir los milímetros de agua infiltrados por hora, esto se realizó tres veces al azar en diferentes lugares del área de ensayo.

- Capacidad de Campo y Punto de Marchitez

Lo realizó el laboratorio de suelos de Agrocalidad ubicado en Tumbaco, por el método de la centrifuga.

3.3.4.2. Características químicas

- Análisis completo de suelos

Se realizó un muestreo al azar con barreno en zig-zag de toda el área del ensayo, obteniéndose 30 sub-muestras, las mismas que se colocaron en un balde para homogeneizarlas y tomar una muestra de 1 kg, que se envió a los laboratorios de Agrocalidad Tumbaco para el análisis químico.

3.3.4.3. Características biológicas

- Meso y Macro fauna

Se tomaron 10 muestras al azar en toda el área del ensayo, con la ayuda de un anillo metálico de 15 cm de diámetro y 20 cm de altura, el que se introdujo en el suelo a una profundidad de 10 cm, rápidamente se removió la tierra del contorno para luego con una palilla cortar el suelo recogido hasta la base del anillo, una vez obtenido este volumen de suelo, se colocó inmediatamente en un recipiente hermético de boca ancha para evitar escape de la fauna edáfica. Luego se separó, identificó y fotografió el microscopio, para contabilizar los organismos encontrados.

3.3.5. Variación de la Humedad del Suelo

Durante todo el periodo de ensayo se tomó semanalmente muestras para determinar el contenido de humedad en %, mediante el método gravimétrico. Las muestras en número de cinco se tomaron al azar en los tratamientos de hilera simple, hilera doble y testigo y se las llevaron al laboratorio de la Carrera, en donde se determinó la humedad del suelo mediante la fórmula.

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso suelo humedo} - \text{Peso suelo seco}}{\text{Peso suelo seco}} * 100$$

3.3.6. Variables a Medir

3.3.6.1. Azufre, Boro, Fósforo, Nitrógeno, Materia Orgánica y Potasio

Al final de los dos ciclos sucesivos de maíz (después de la cosecha), se realizó un muestreo al azar en zig-zag en las tres repeticiones de cada tratamiento; se obtuvo tres sub muestras utilizando barreno, e incluyendo la materia orgánica superficial, luego se tomó 1 kg del suelo y se envió las once muestras identificadas a Agrocalidad en Tumbaco para la determinación de MO, N, P, S y B.

3.3.6.2. Determinación de la meso y macro fauna

La determinación de la meso y macro fauna se realizó extrayendo un volumen de suelo del primer horizonte al final de los dos ciclos sucesivos del maíz en cada tratamiento.

Para ello se introdujo un anillo de hierro de 15 cm de diámetro y 20 cm de altura equivalente a un volumen de $3534,29 \text{ cm}^3$, el que fue enterrado 10 cm; al contorno del cilindro se excavó la tierra para poder cortar con una palilla la muestra recogida, y evitar de esta manera que se escapen los insectos, luego se juntó lo colectado de cada repetición en un solo recipiente de plástico con tapa para hacer una sola muestra del tratamiento ($1767,15 \text{ cm}^3$), y poder así contabilizar e identificar con microscopio los mismos en el laboratorio.

3.3.6.3. Altura de planta

Se tomó a los 94 dds con una mira topográfica en las 18 plantas centrales de la parcela neta, desde el nivel del suelo hasta el punto de inserción de la panoja y se expresó en cm. Se realizó en los dos ciclos de cultivo por tratamiento.

3.3.6.4. Diámetro del tallo

Se midió a los 57 dds con un calibrador, en las 18 plantas centrales de la parcela neta, en el segundo entrenudo a partir de la base del tallo y se expresó en mm. Se realizó en los dos ciclos de cultivo por tratamiento.

3.3.6.5. Altura de inserción de la primera mazorca

Se evaluó a los 88 dds con una mira topográfica, en las 18 plantas centrales de la parcela neta, su medición se realizó desde el nivel del suelo hasta el punto de inserción de la primera mazorca en cm y se realizó en los dos ciclos de cultivo por tratamiento.

3.3.6.6. Días a la floración Masculina

Este dato se tomó en cada ciclo de cultivo y por cada tratamiento cuando el 50 % de las plantas emitieron la espiga.

3.3.6.7. Días a la madurez fisiológica total

Se tomó en cada ciclo de cultivo por tratamiento cuando el 50 % de mazorcas estaban de cosecha.

3.3.6.8. Porcentaje de humedad del grano

Con la ayuda de un medidor digital, se tomo de cada tratamiento una cantidad de grano requeridos por el instrumento con el fin de determinar el porcentaje de humedad de campo.

3.3.6.9. Rendimiento del grano

Se calculó después de la cosecha y desgrane, en cada tratamiento de los dos ciclos de siembra. Primero se procedió a tomar el rendimiento bruto de la parcela neta (peso de la cosecha en el campo), luego con el porcentaje de humedad en campo y el peso de campo se calculó el rendimiento ajustado aplicando la siguiente fórmula.

$$\text{Rendimiento kg ha}^{-1} = \frac{PC(100 - HC)}{87} * 1041,66$$

Donde:

HC = Humedad de campo

PC = Peso de campo

87 = Constante de ajuste de humedad al 13 %

1041,66 = Dato de ajuste para una hectárea (10000 área cosechada)

3.3.7. Manejo Específico del Ensayo

En el área Académica de la Carrera en la Hda. San Antonio, se seleccionó un sitio de topografía ligeramente ondulada, de 1674 m² en el cual se desarrollo el ensayo y en donde se realizaron las siguientes labores:

3.3.7.1. Adecuación del terreno

Consistió en limpiar el área de estudio con motoguadaña y machete para dejar picada las hierbas y malezas, hasta un tamaño similar al que produce una cosechadora mecánica.

3.3.7.2. Instalación del ensayo

El experimento consistió en la siembra sucesiva de dos ciclos de maíz a partir del 6 de Abril 2010, en la superficie de 1674 m² en donde se instalaron 33 unidades experimentales correspondientes a dos arreglos de siembra con igual población de plantas y cinco formas de aplicación de nitrógeno, tratamientos que se realizaron en

siembra directa y un testigo que se efectuó con labranza convencional. Los tratamientos, se aplicaron sobre la misma unidad experimental en la primera y segunda siembra.

- **Preparación del terreno**

En el sitio destinado a siembra directa se limpió el terreno con machete y luego se procedió a la aplicación de herbicida. En el área destinada a labranza convencional se realizaron tres pasadas de rastra. El mismo procedimiento se efectuó en el segundo ciclo de cultivo.

- **Delimitación**

Se delimitó el área total y las unidades experimentales, dejando los caminos respectivos, luego se sorteó los tratamientos identificándolos con letreros en cada UE. Para el segundo ciclo se delimitaron las parcelas y se ubicaron los tratamientos con el mismo esquema del primer ciclo.

3.3.7.3. Control de malezas

En el primero y segundo ciclos antes de la siembra se realizaron dos controles de malezas luego de haberse realizado el corte y picado de la hierba. Según la incidencia de malezas a los 8 dds se fumigó con Accent (30 g / 200 L ha⁻¹ de agua) selectivo para controlar caminadora. En el tratamiento testigo se realizó primero los pases de rastra,

luego los controles químicos pertinentes recalcando que este utilizó mas producto que los tratamientos de siembra directa y una vez sembrado el maíz a los 10 dds se efectuó un control utilizando Accent (40 g / 200 L ha⁻¹ de agua).

3.3.7.4. Siembra

Para la siembra se utilizó semilla del híbrido H-551, la misma que se desinfectó con Semevin (Thiodicarb) en dosis de 20 cc/kg , luego con espeque se realizó el hoyado y se procedió a sembrar, colocando dos semillas por hoyo y cubriendo con una capa de tierra. El mismo procedimiento se realizó para la segunda siembra.

3.3.7.5. Fertilización

Con los resultados del análisis de suelo se realizaron los cálculos pertinentes de fertilización, a los 10 dds se aplicó la totalidad del fósforo, potasio, azufre y magnesio al suelo con espeque, más el 50 % de nitrógeno de acuerdo a la aplicación de este en cada tratamiento, al pie de la planta, al pie de la planta + foliar, con espeque, con espeque + foliar y en drench, utilizando como fuente el fosfato monoamónico, muriato de potasio, súperfosfatotriple, sulfato de magnesio y urea. A los 30 dds se colocó el 50 % de N restante. En los tratamientos de urea foliar adicional se fumigó el 10 % de la dosis total de N dividida en dos partes, a los 25 dds y 50 dds. En los tratamientos de N en drench la dosis se la disolvió en agua y se aplicó alrededor de la planta. La fertilización del testigo fue similar, con excepción de la aplicación de N que se la realizó en banda.

Las dosis de fertilizantes calculados en base al análisis químico del suelo realizado previo al ensayo (Anexo 1), utilizó los requerimientos para un rendimiento de cinco toneladas de maíz, además de los porcentajes de eficiencia, obteniendo los siguientes valores que se muestran en la Cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados de análisis de suelo y requerimientos nutricionales del cultivo de maíz

| Elementos | N | P | K | S | Mg |
|-------------------|-----------|----------|---------------|----------|---------------|
| Análisis de suelo | 0,19 % | 2 ppm | 0,66 meq/100g | 10 ppm | 0,66 meq/100g |
| Requerimientos* | 125 kg/ha | 26 kg/ha | 28,57 kg/ha | 26 kg/ha | 24 kg/ha |

*Requerimientos para maíz con un rendimiento de 5 toneladas (Bertsch, F. 2003).

El potasio se adicionó como dosis de mantenimiento, pese a que se encontró en el suelo en alto contenido según el análisis de Agrocalidad Tumbaco, la misma que se calculó en base a lo que extrae la cosecha, aplicando 20 kg / ha, para una eficiencia del 70 % (28,57 kg) (García, 2005). La aplicación magnesio se la subdividió en 6 partes, aplicando solamente cinco sacos por hectárea de sulfato de magnesio, la misma que se aplicó por el desbalance de la relación Mg / K (1) en el suelo.

- Dosis de Fertilizantes por tratamientos

En las unidades experimentales de aplicación en drench, se disolvió la urea en 10 L de agua, cada planta recibió 50 ml de la solución.

Para la aplicación foliar se disolvió la urea en medio litro de agua para la primera aplicación y un litro de agua para la segunda. Las dosis de todos los tratamientos se describen en la Cuadro 5.

Cuadro 5. Dosis en kg de fertilizantes aplicados en los diferentes tratamientos del ensayo de los dos ciclos de maíz

| Trata | Nitrógeno | | Fosforo | | Potasio | Magnesio Azufre |
|------------------------------------|------------|-------------|------------------------|------------------------|---------|--------------------|
| | Urea suelo | Urea foliar | Fosfato monoamónico | Súper Fosfatotriple | Muriato | Sulfato de Mg |
| Test (72m ²) | 1,71 kg | - | 2,33 kg | - | 4,3 kg | 1,8k g |
| n ₁ (32m ²) | 0,50kg | - | 1,03 kg | - | 1,8 kg | 0,8 kg |
| n ₂ (32m ²) | 0,50 kg | 50 g | 1,03 kg | - | 1,8 kg | 0,8 kg |
| n ₃ (32m ²) | 0,50 kg | - | 1,03 kg | - | 1,8 kg | 0,8 kg |
| n ₄ (32m ²) | 0,50 kg | 50 g | 1,03 kg | - | 1,8 kg | 0,8 kg |
| n ₅ (32m ²) | 1,0 kg | - | - | 1,16 kg | 1,8 kg | 0,8 kg |

3.3.7.6. Control de plagas

Para el primero y segundo ciclos de siembra se realizaron los controles pertinentes por la presencia de cogollero (*Spodoptera frugiperda*), *Cerotoma sp.*, *Diabrotica sp.*, *Dalbulus maydis* y chinches, con los insecticidas lamdachialotrina en dosis (1,2 L / 200 L ha⁻¹ de agua) y metomil en dosis (300 g / 200 L ha⁻¹ de agua), a los diez y treinta dds. Para el control de hormiga arriera *Atta sp.*, se aplicó el producto comercial Atakil. A los veinticinco dds en el testigo en los dos ciclos. Preventivamente se aplicó el fungicida Phyton en dosis de (300 cc / 200 L ha⁻¹ de agua).

3.3.7.7. Cosecha

Se efectuó a la madurez total del maíz a los 120 dds. Las mazorcas de cada tratamiento se separaron en saquillos y se pesaron. Luego se obtuvo el porcentaje de humedad en campo y se ajustó a rendimiento al 13 % de humedad del grano. Proceso que se realizó en los dos ciclos de siembra.

3.4. METODOLOGÍA PARA EL OBJETIVO INSTITUCIONAL

Se realizó un día de campo para productores de la parroquia Luz de América y estudiantes del Tecnológico Calazacón, en el cual se dió a conocer las ventajas del cultivo de maíz en la zona y su problemática y la propuesta de introducción de la siembra directa con sus respectivos beneficios y limitaciones, para luego exponer los resultados del ensayo en campo y las diferencias entre tratamientos en siembra directa con el testigo (labranza convencional), además se mostró datos de producción y la dinámica de la meso y macro fauna antes y después del ensayo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN


4.1. CARACTERIZACIÓN DEL PAISAJE Y PERFIL DEL SUELO

Previo a describir el recurso suelo, el análisis se sustentó en procedimientos químicos, físicos e información relevante relacionada con el registro e identificación del suelo, información que puede ser derivada de una combinación de mediciones de campo, permitiendo conocer cuales son los procesos formadores del mismo y por ende las condiciones del medio en el que se ha desarrollado.

En los Cuadros 6, 7 y 8 se presentan los resultados de la descripción morfológica, paisajística, climática, de ubicación y otras características del suelo, del paisaje y del perfil del sitio de ensayo.

4.1.1. Descripción del paisaje y del perfil del sitio de ensayo

Cuadro 6. Descripción del sitio y suelo en ensayo, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011

| Paisaje y Perfil de suelo <i>Información Acerca del sitio</i> | | | | | |
|--|--|---|---------------------------------------|--|--------------------------|
| Número de perfil: 1 | Clasificación agrológica: | | | Clasificación taxonómica: | |
| | Clase II s: suelos buenos, baja fertilidad y mediana capacidad productiva, prácticas simples de conservación | | | Orden: Andisol | Grupo: Udans |
| Autores: Acosta M., Galárraga O., Valarezo A., Tumbaco J. | | | Fecha: Mayo-2010 | | |
| Ubicación política: Ecuador, Sto. Dgo de los Tsáchilas, Luz de América, Hda. San Antonio | | | | Ubicación geográfica: 17M=0684171; UTM=9945274 | |
| Altitud: 232 msnm | Clima: Tropical Húmedo | Precipitación media: 2900 mm/año | Temperatura media: 24,6°C | | |
| Topografía circundante: Plana | | Zona de Vida: Bosque húmedo Tropical | | | |
| Micro topografía: Casi plana | | Pendiente: 1-2 % | | | |
| <i>Información general acerca del suelo</i> | | | | | |
| Velocidad infiltración: 101,36 mm/h | Drenaje: Muy Rápido | Permeabilidad: 186,33 mm / h | pH: 5,98 Lig. Ácido | Erosión: Nula | |
| Capacidad de Campo: 30,79% | | Punto de Marchites Permanente: 18,36% | | Agua aprovechable: 12,21% | |
| Humedad : 47,7 % | Capa freática: > 1 m | Suma de Bases: 5,07 meq/100g | Da: 1,3 g / cm ³ | Salinidad:: Nula | C.E: 1,17 ds/m |
| Material madre: Ceniza volcánica | Influencia humana: Presencia de vestigios arqueológicos a 30 cm. | Pedregosidad: Nula | Profundidad Efectiva: 83 cm | Estructura: Granular | |
| Observaciones: presencia de huecos grandes o galerías a 45 cm de profundidad. | | | | | |
|  | Realizó | Realizó | Revisó | | |
| | _____ | _____ | _____ | | |
| | Madai Acosta E. | Omar Galárraga | Ing. Alfredo Valarezo | | |

4.1.2. Descripción del Perfil

Cuadro 7. Descripción del perfil del suelo, en ensayo para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

| Descripción del perfil de suelo | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------------|--------------|----------------|-------------|----------------|------------------------|------------|---------------|------------|-------------|----------------|--------------------|
| Horizonte | | | Color | | | | Textura | | Estructura | | | Prueba pH en NaF * |
| | | | Húmedo | | Seco | | | | | | | |
| Simbología | Profundidad (cm) | Espesor (cm) | Identificación | Descripción | Identificación | Descripción | Porcentaje | Clase | Clase | Tamaño (mm) | Descripción | p.H |
| A _p | 0-13 | 13 | 7,5 YR 3/3 | Café oscuro | 5 YR3/3 | Café oscuro | Are: 39% | Franco-Limoso | Media | 5-10 | Granular media | 11,98 |
| | | | | | | | Lim: 50% | | | | | |
| | | | | | | | Arc: 11% | | | | | |
| B ₁ | 13-33 | 20 | 10 YR 4/4 | Café claro | 7,5 YR4/4 | Café claro blanquecino | Are: 43% | Franco | Media | 5-10 | Granular fina | 11,95 |
| | | | | | | | Lim: 48% | | | | | |
| | | | | | | | Arc: 9% | | | | | |
| B ₂ | 33-85 | 52 | 2,5 Y 3/3 | Café claro | 10 YR 4/4 | Café claro amarillo | Are: 37% | Franco-Limoso | Fina | 2-5 | Granular fina | 11,86 |
| | | | | | | | Lim: 52% | | | | | |
| | | | | | | | Arc: 11% | | | | | |
| A _{tb} | 85-103 | 18 | 10 YR 3/6 | Café oscuro | 10 YR 3/1 | Café oscuro | Are: % | - | Fina | 2-5 | Granular fina | - |
| | | | | | | | Lim: % | | | | | |
| | | | | | | | Arc: % | | | | | |

* El pH en Fluoruro de sodio (NaF) es útil para detectar la presencia de compuestos amorfos (coloides inorgánicos no cristalinos) en posibles horizontes espódicos o en andosoles, frente a esta reacción el pH puede alcanzar valores mayores a 10 en presencia de alófanas, esa mayor subida se debe a la mayor afinidad del flúor por los hidroxilos y a la mayor fuerza de la sosa frente a la potasa

Cuadro 8. Densidad aparente y humedad de los estratos del suelo recolectados en la Hda San Antonio, km 35. 2011.

| Densidad Aparente | | |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------|
| <i>Profundidad(cm)</i> | <i>Da(g/cm³)</i> | <i>Humedad(%)</i> |
| 0 - 10 | 1,12 | 49,81 |
| 10 - 20 | 1,35 | 50,42 |
| 20 - 30 | 1,43 | 52,53 |

Los suelos de la zona del ensayo tienen origen en la deposición de ceniza volcánica, no existe evidencia de erosión, ningún afloramiento rocoso ni fragmentos gruesos en la superficie, son suelos franco limosos a francos, según los análisis realizados en Agrocalidad Tumbaco e INIAP. Según la FAO (2009) estos suelos se han formado a partir de material volcánico, tienen una $Da < 0,9 \text{ kg dm}^{-3}$, pero en el caso del suelo del sitio de ensayo (Cuadro 8) la Da promedio de 0-30 cm de profundidad fue de $1,3 \text{ g/cm}^3$ lo cual demuestra que existe un proceso de degradación del suelo por compactación. La porosidad es suficiente para un buen almacenamiento de agua y una velocidad de infiltración de 101,36 mm/h. La capacidad de campo está en 30,79 % con el 12,21 % de agua aprovechable por las plantas antes de llegar al punto de marchites permanente, que fue 18,36 %. Un reciente estudio (GEOPLADES 2009) engloba a estos suelos en la clase III_s debido a fertilidad baja (suma de bases 5,07 meq/100g), y acidéz (pH 5,98). Requieren básicamente mejoramiento de su fertilidad, corrección de pH y preparación localizada del suelo (Cuadro 6). No obstante por la pendiente del terreno en el sitio de ensayo que es plano o casi plano, se ha clasificado como de clase agrológica II_s

En cuanto a la descripción de la calicata presentada en el Cuadro 7, se encontró con los siguientes horizontes:

A_p, horizonte mineral de 13 cm de espesor, formado en la superficie del suelo, que ha recibido labranza, pastoreo o algún otro tipo de perturbación; el rasgo dominante es la acumulación de materia orgánica humificada. El sufijo p se lo situó por presentar labranza u otra acción humana, en este caso es un horizonte sin restricciones.

B₁ es el segundo horizonte encontrado con 20 cm de espesor dentro del perfil, con las siguientes características: color en húmedo de 7,5 YR 4/4 más alto en croma que los horizontes superiores o inferiores es decir más amarillento dado por la combinación de limo con arcillas.

El siguiente horizonte se lo catalogó como un B₂ por presentar características similares al horizonte B₁ sin definirse completamente como B, presenta un color en húmedo de 2,5 YR 3/3 más oscuro que el B₁ de 52 cm de espesor.

El siguiente horizonte se lo catalogó como A_{tb} un horizonte enterrado ya que tiene características similares a uno A superficial.

En cuanto a la fertilidad del horizonte A al inicio del ensayo, según los resultados del análisis de suelo del laboratorio de Agrocalidad, se tiene que el contenido de materia orgánica es de 3,78 % (medio), el de nitrógeno total 0,19 (bajo), azufre 10 ppm (alto), fósforo 2 ppm (bajo) y potasio 0,66 meq/100g (alto).

4.1.3. Velocidad de Infiltración

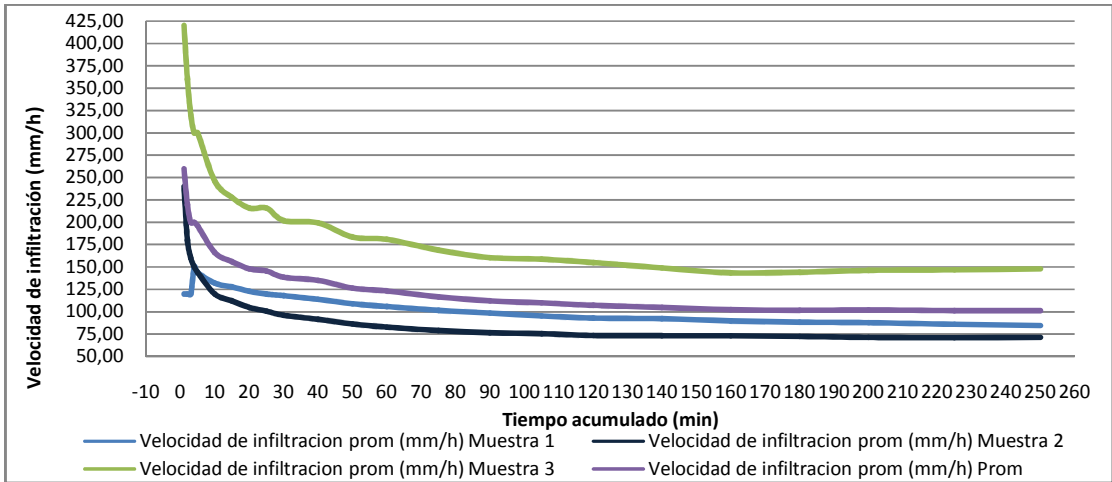


Figura 5. Velocidad de infiltración en el perfil del suelo, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo. Hda San Antonio, km 35. 2011.

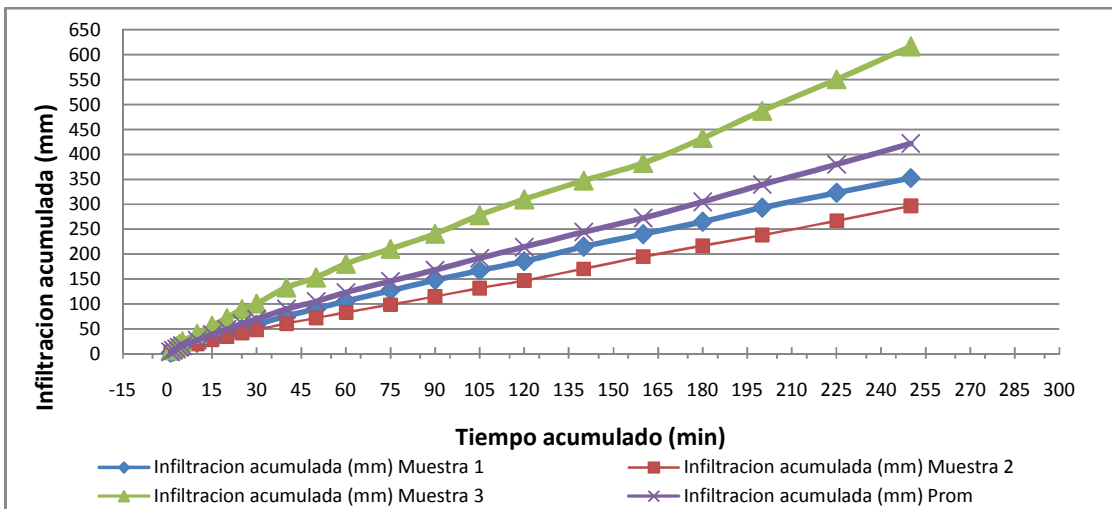


Figura 6. Infiltración acumulada en el perfil del suelo, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo. Hda San Antonio, km 35. 2011.

La determinación de la velocidad de infiltración se realizó por el método de anillos infiltrómetros. Los cálculos de la prueba realizada se presentan en el Anexo 6. La

velocidad de infiltración fue de 101,36 mm/h en promedio de los tres muestreos de campo como se aprecia en la Figura 5 donde la curva de infiltración disminuye gradualmente hasta ser casi constante a partir de los 100 min de la prueba. Este resultado permite concluir que el suelo es de grado f (Íñiguez 1999), nominación muy rápida con una circulación de agua y aire, rápida. En la figura 6, se presenta la tendencia de la infiltración acumulada (Icum), que representa la cantidad total de agua que ha ingresado al suelo, reportando un valor promedio de los tres muestreos de 422,33 mm a lo largo de los 250 min.

4.2. VARIACIÓN HIDRO FÍSICA DURANTE EL ENSAYO

4.2.1. Humedad del Suelo y de la Precipitación

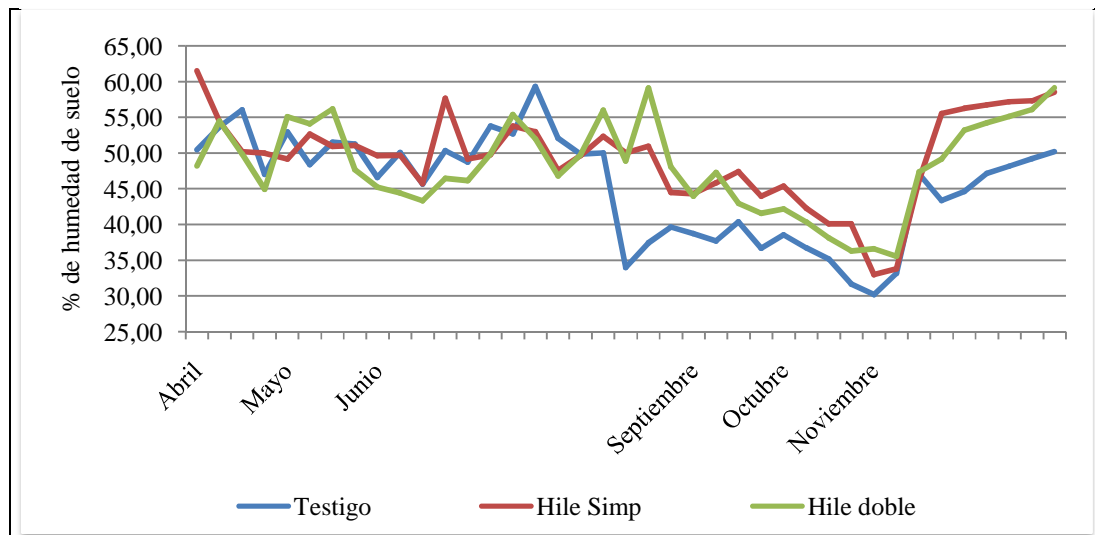


Figura 7. Variación del contenido de humedad del suelo en el ensayo para evaluar el efecto de la siembra directa y la labranza sobre el suelo, de dos ciclos sucesivos de maíz de Abril 2010 a Enero 2011. Hda San Antonio, km 35.

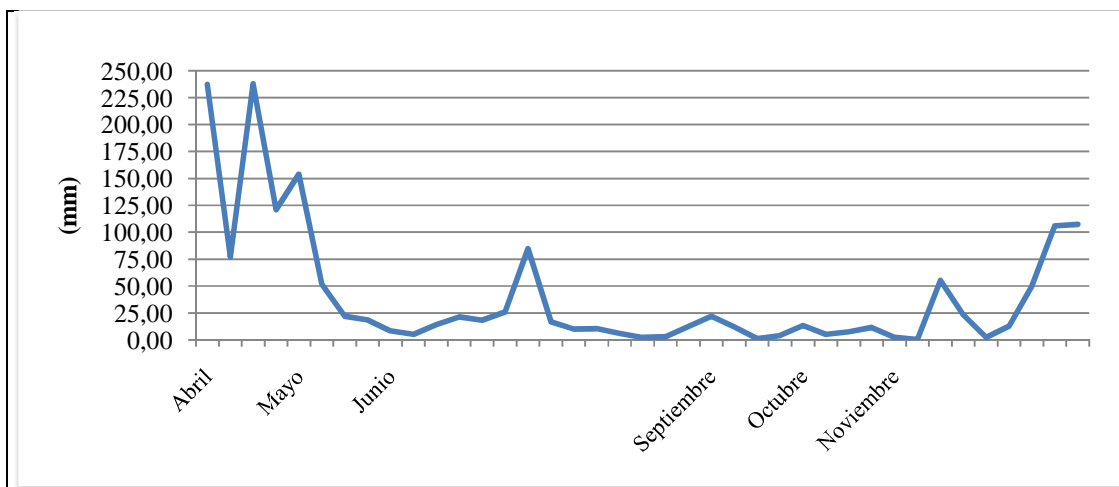


Figura 8. Precipitación durante el período del ensayo Abril 2010 a Enero 2011, para evaluar el efecto de la siembra directa y labranza sobre el suelo. Hda San Antonio, km 35.

Las Figuras 7 y 8 corresponden a la variación de la humedad en el suelo y a la precipitación de Abril 2010 a Enero 2011, observándose que existe relación de similitud con la humedad de ambos arreglos de siembra (hilera simple e hilera doble) y el testigo, teniendo en cuenta que en noviembre hubo ausencia de lluvias relacionado con la poca humedad en el suelo, la misma que afectó en mayor grado al testigo por presentar un suelo desnudo, lo que no ocurre en siembra directa, ayudado por el rastrojo presente en la superficie, el mismo que disminuyó la evaporación del agua presente en el suelo.

4.2.1.1. Correlacion lineal entre humedad de suelo y precipitación semanal.

La correlación entre los datos de precipitación y humedad de suelo tomados semanalmente, durante los meses de duración del ensayo para el tratamiento en siembra

directa a doble hilera, reflejan que en el suelo existe dependencia de un 9 % de las lluvias presentes en la zona, para la retención de humedad dentro del mismo (Figura 9).

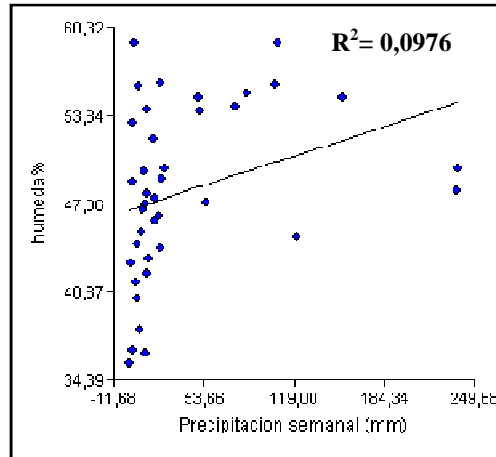


Figura 9. Correlación entre precipitación y humedad de suelo en el tratamiento de siembra directa a hilera doble.

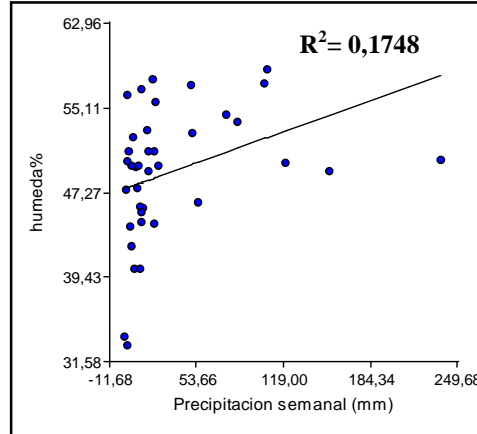


Figura 10. Correlación entre precipitación y humedad de suelo en el tratamiento de siembra directa a hilera simple.

Del mismo modo, para el tratamiento en siembra directa a hilera simple, refleja que en el suelo existe dependencia de un 17 % de las lluvias presentes en la zona, para la retención de humedad dentro del mismo (Figura 10).

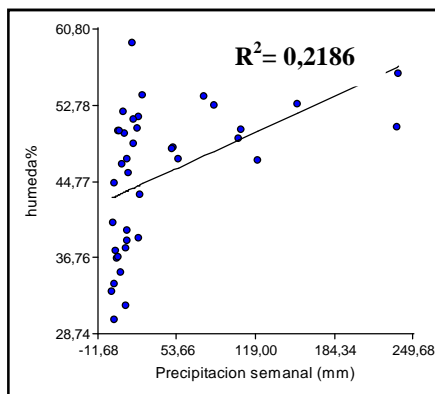


Figura 11. Correlación entre precipitación y humedad de suelo en el tratamiento testigo (labranza convencional)

La correlación realizada entre los datos de precipitación y humedad de suelo, tomados semanalmente durante los meses de duración del ensayo para el tratamiento con labranza convencional utilizando maquinaria, reflejan que en el suelo existe dependencia de un 21 % de las lluvias presentes en la zona, para la retención de humedad dentro del mismo (Figura 11). Revelando que suelos labrados de forma convencional con maquinaria, eliminada su cubierta necesitarían mayor presencia de precipitaciones o de mayor frecuencia de riego para mantener la humedad en el mismo, al contrario de aquellos que presentan cobertura y un suelo sin disturbar.

El rastrojo presente en el suelo bajo SD ayudaría a mantener la humedad por más tiempo, a la vez contrarrestaría las pérdidas por evapotranspiración, así lo corrobora Bordoli (2001) donde dice que el aumento de cobertura de suelo con residuos aumenta la infiltración de agua lluvia y sirve como una barrera insulada, que reduce la temperatura del suelo y la evapotranspiración de agua.

4.3. CAMBIOS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

4.3.1. Químicos

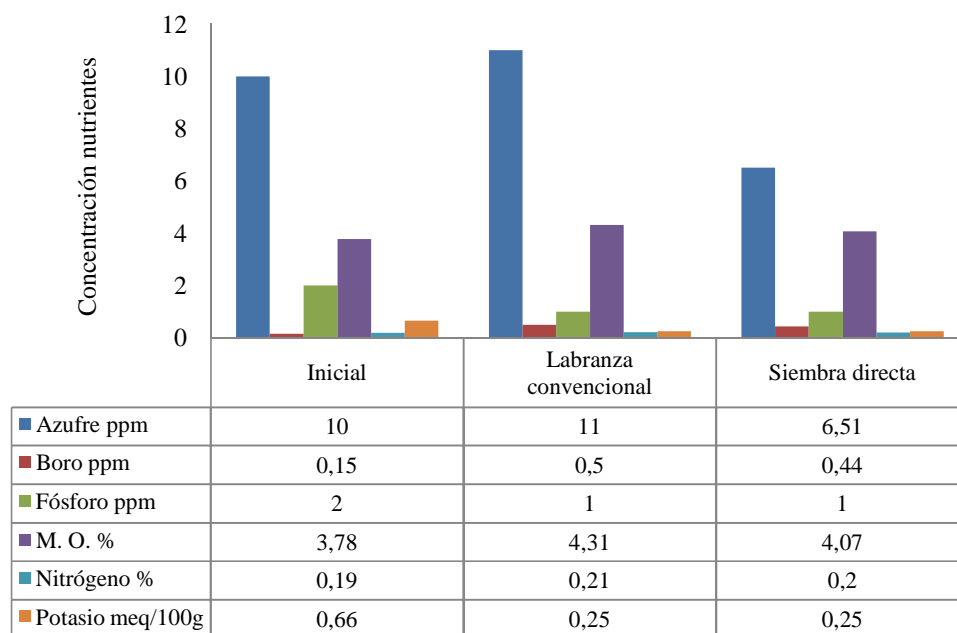


Figura 12. Concentración promedio de elementos existentes en el suelo al inicio del ensayo y al final de dos ciclos para la labranza convencional y siembra directa.

De los análisis se obtuvo que para el Azufre en labranza convencional, aumentó con respecto al análisis inicial, contrario a lo obtenido en siembra directa (Figura 12), según Fontanetto *et al.* (2000) la disponibilidad de S va disminuyendo debido a causas como: utilización de fertilizantes libres de S, aumento del rendimiento de los cultivos y por ende mayor extracción de S e incrementos de las labranzas con mínimo o sin laboreo, provocando menor mineralización del S orgánico del suelo.

Con respecto al elemento Boro, la misma figura, muestra incremento para la labranza convencional y la siembra directa en relación al análisis inicial. El aumento de Boro registrado va de la mano con la incorporación de rastrojo en la LC y la acumulación del mismo en SD.

Para el elemento Fósforo los análisis al final de los ciclos, arroja valores más bajos que la concentración inicial del P, tanto en LC como SD (Figura 12), podría ser atribuible este resultado al consumo del elemento por parte de la planta; sin embargo, el método de extracción empleado en el laboratorio puede no ser muy exacto, sobre todo al considerar su fuerte fijación por parte de los coloides del suelo. La baja eficiencia del P aplicado al suelo, pudo ser contrarrestada al ser enterrado el fertilizante con espeque y ponerlo cerca al sistema radicular, lo cual corroboran Barbagelata, y Paparotty (2000), afirmando que este elemento debe estar disponible para el cultivo desde la implantación por su reducida movilidad y la retención (fijación, adsorción e inmovilización) del fertilizante fosfatado, para lo cual sugieren la aplicación localizada del mismo.

En cuanto a la Materia Orgánica los análisis muestran un ligero incremento para los dos tipos de labranza en comparación con el análisis inicial. La labranza convencional fue ligeramente superior a la siembra directa ya que al incorporar los residuos de cosecha y rastrojo con maquinaria agrícola, la materia orgánica debió incrementarse para el sistema de LC, contrario a la SD donde el rastrojo fue depositado superficialmente lo cual parte de este material no se incorporó al suelo y a la muestra de suelo para el análisis de laboratorio (Figura 12).

Los valores que arrojan los análisis de suelo para el Nitrógeno total son un aumento para los dos tipos de labranza al final del ensayo, esto se debe también a la incorporación y la acumulación de la materia orgánica en el suelo.

En cuanto a los valores de Potasio el análisis muestra la pérdida del elemento en el suelo tanto en la labranza convencional como en siembra directa con respecto al análisis inicial (Figura 12). La menor concentración de este elemento puede atribuirse a la absorción por las plantas y a las pérdidas que se dan por lixiviación principalmente, facilitado por la textura suelta del suelo en el sitio de ensayo que va de franco a franco limoso.

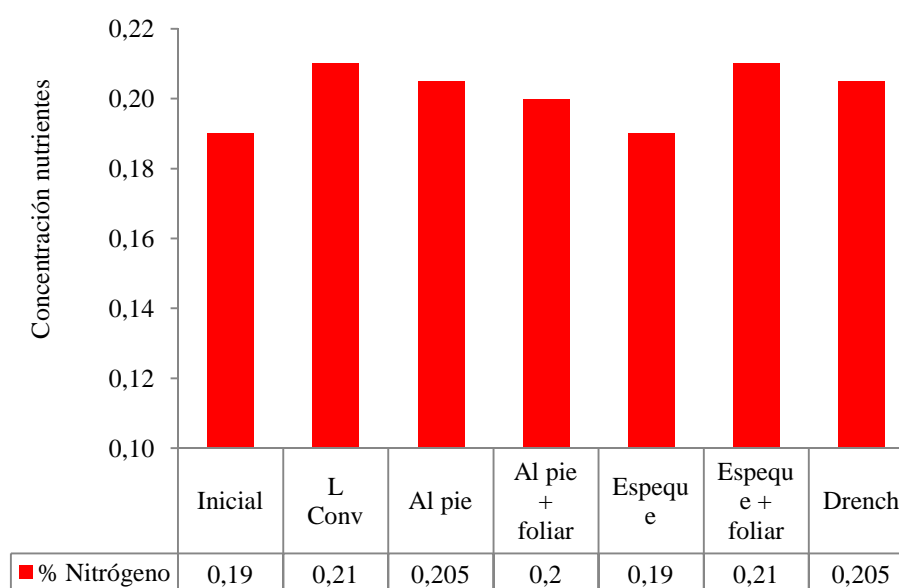


Figura 13. Concentración promedio de Nitrógeno total en % existente en el suelo al inicio del ensayo y al final de dos ciclos para las formas de aplicación con Urea.

Los análisis de suelos muestran que después de realizarse dos ciclos de cultivo de maíz la concentración de nitrógeno del suelo es muy similar entre los tratamientos y el testigo, comparado con el análisis al inicio del ensayo (Figura 13). Donde probablemente el fertilizante que se depositó al suelo en las distintas formas; al pie, al pie + foliar, con espeque, con espeque + foliar y drench, fueron aprovechados por la planta sin ocupar el N del suelo, a mas de aumentar la concentración con respecto al inicio.

La mejor concentración según el análisis de suelo (Figura 13), se encontró en la labranza convencional al realizar fertilización en banda, donde posiblemente el aumento de su concentración se debió a la incorporación de los rastrojos al preparar el suelo, puesto que estos contienen cantidades de N al descomponerse, lo que es corroborado por Morón (2000), donde dice que la composición química del rastrojo de maíz posee un 1,27 % de Nitrógeno. Otro de los sistemas que resultó más eficiente es al enterrar la urea con espeque mas una aplicación de la misma vía foliar.

Es comprobado que los mejores resultados se obtienen al enterrar el fertilizante así lo corrobora Griffith *et al.* (1977) citado por Bordoli (2001), que asegura que sería conveniente la aplicación de fertilizante N localizado e incorporado por la capa de residuos. Esta localización disminuiría las pérdidas de eficiencia por inmovilización en los residuos, volatilización y lixiviación por flujo preferencial. Esta localización mejoraría además la disponibilidad posicional del fertilizante, al aplicarse cerca de las raíces del cultivo.

4.3.2. Biológicos

4.3.2.1. Identificación, calificación y comparación inicial vs final de la meso y macro fauna del suelo

Al analizar los resultados descritos en los anexos 7 y 10, se notó diferencias entre el conteo inicial y el conteo final según los tratamientos, presentándose incrementos tanto en el número de insectos como en la variedad de los mismos y lo mas importante que la presencia de rastrojos contribuyó positivamente (SD), pues se encontró mayor variedad de insectos que, como es conocido intervienen en el equilibrio biotico del sistema suelo-planta.

Todo tipo de labranza crea desequilibrio en la fauna del suelo, ya sea en aumento o disminución de esta. Si bien se considera como mas saludable a un suelo con mayor diversidad, algunos de ellos pueden ser perjudiciales para el cultivo. Sin embargo todos y cada uno de los ordenes descritos son necesarios para la descomposición de la materia orgánica.

El siguiente cuadro describe la diversidad y forma de presencia de individuos que se encontró en el suelo al inicio y final del ensayo, donde se nota el aumento en cantidad y diversidad de los individuos en el ensayo realizado con siembra directa (Cuadro 9).

Cuadro 9. Calificación de la presencia de meso y macro fauna del ensayo para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

| CALIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE INDIVIDUOS | | | | | | | |
|--|-------------|----------------------|-------------------|----------|-----------------------|-----------------|----------|
| Clase | Orden | Nombre Común | Inicio del ensayo | | Labranza convencional | Siembra Directa | |
| | | | Suelo | Rastrojo | Suelo | Suelo | Rastrojo |
| Diplopoda | | Milpies | * | * | * | * | * |
| Chilopoda | | Cienpies | * | * | * | * | * |
| Symphyla | | Sinfilo | ++ | * | + | ++ | + |
| Crustacea | Isopoda | Chanchito h | ++ | ** | ^ | ++ | + |
| Collembola | | Colembolos | ** | ** | ** | ++ | ++ |
| Arachnida | Acarina | Acaros | * | * | * | ** | * |
| | Araneae | Arañas | * | * | * | * | * |
| | Ixodida | Garrapatas | ** | * | * | * | * |
| Oligochaeta | | Lombrices | ** | * | * | ** | * |
| Insecta | Hymenoptera | Hormigas | ++ | ** | ++ | ++ | ++ |
| | Coleoptera | Escarabajo | * | * | ** | + | ** |
| | | <i>Phyllofaga</i> | * | * | * | * | * |
| | | <i>Staphynilidae</i> | * | * | * | * | * |
| | Diptera | Mosquito | * | * | * | * | * |
| | Hemiptera | Cochinillas | * | * | ** | ++ | * |
| | | Chinches | * | * | * | * | * |
| | | Pulgón | ^ | ^ | * | * | * |
| | Orthoptera | Grillo topo | * | ^ | ^ | ^ | ^ |
| | | Saltamontes | ^ | * | ^ | ^ | ^ |
| | Psocoptera | Psocoptera | ^ | ^ | ^ | * | ^ |
| Blattodea | Cucarachas | * | * | * | * | * | |
| Gastropoda | | Caracolillos | * | * | ^ | ** | * |
| Turbellaria | | Planaria | * | ^ | ^ | * | ^ |
| Nematoda | | Nemátodos | ^ | ^ | ^ | * | ^ |

Abundancia: ++ muy alto; + alto; ** medio; * escaso; ^ ausencia

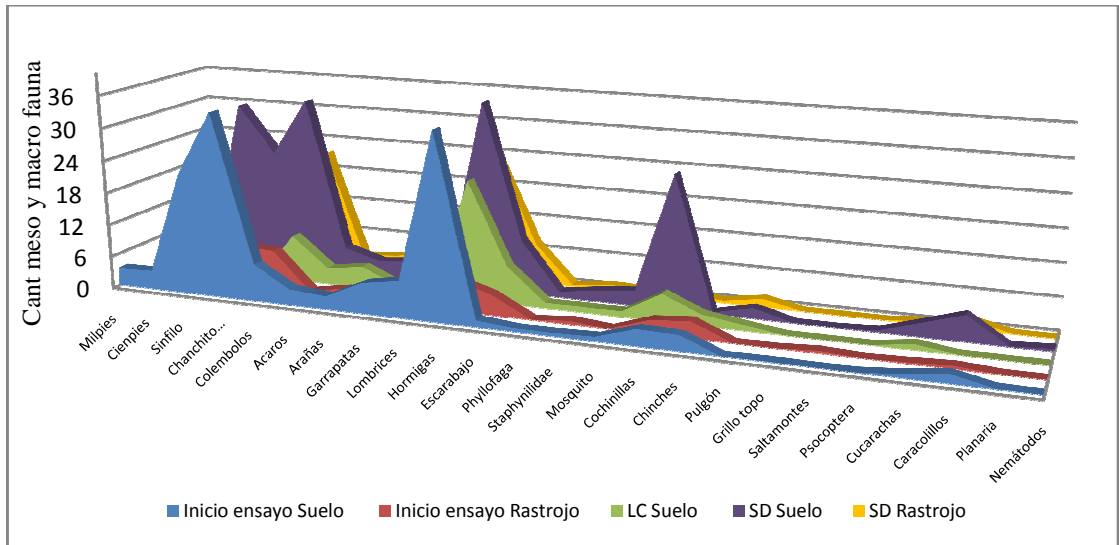


Figura 14. Cantidad de insectos en los distintos tipos de labranzas y muestreos para medir el efecto de la siembra directa sobre el suelo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

Como respuesta a los efectos causados por la labranza convencional (LC), la cantidad de insectos frente al conteo inicial se ve disminuida por no contar con el rastrojo y por haber sufrido modificación el suelo, lo cual muestran diferencias un suelo no perturbado siembra directa (SD), ya que existe un incremento en diversidad del suelo a más de la biota que se suma del rastrojo (Figura 14).

Como se ha venido discutiendo anteriormente la LC disminuye la meso y macro fauna, tal como se presenta en la Figura 15, donde sigue presentando una disminución al analizarlo en promedio y de forma general, por motivos como la perturbación mecánica, la distribución y abundancia de los organismos invertebrados se ve limitado por depredación o exposición a enemigos.

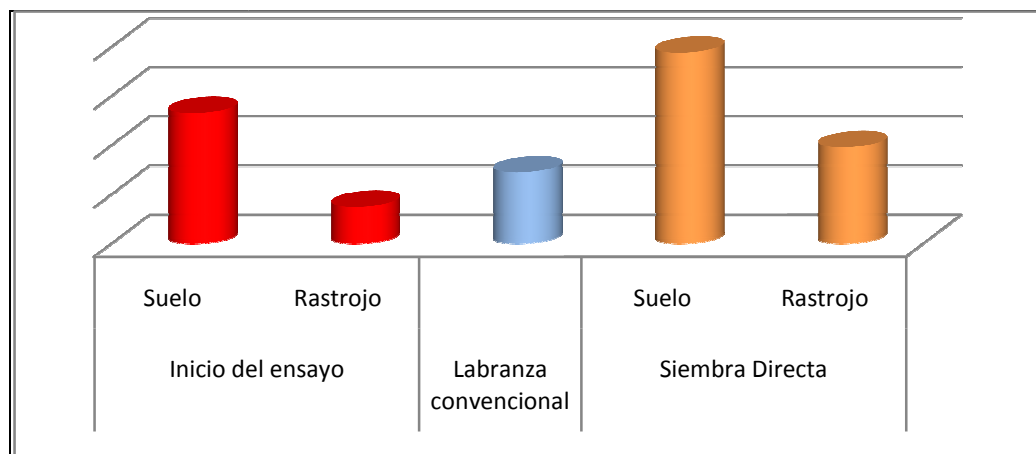


Figura 15. Presencia promedio de insectos en los distintos tipos de labranza para medir el efecto de la siembra directa sobre el suelo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

Afirmando los resultados obtenidos Castiglioni (2000), donde el manejo del rastrojo tiene incidencia directa en la evolución de muchas especies y medidas como la quema, retiro, incorporación con maquinaria y el mal uso de agroquímicos, afectan a la población de individuos tanto superficiales como del suelo.

4.4. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO, DE DOS CICLOS DE PRODUCCIÓN

4.4.1. Altura de Planta

El análisis de varianza del Cuadro 10, muestra diferencias estadísticas altamente significativas para los arreglos de siembra, testigo vs resto y la interacción ciclos por arreglos de siembra, para las formas de aplicación del N y la interacción de esta por las formas de aplicación de N, a más de ciclo por testigo las diferencias en estas variables

fueron significativas. Los CV (a) de 6,09 % y (b) de 3,42 %, son buenos para este tipo de variable.

Cuadro 10. Resumen del ADEVA, sobre la variable Altura de Planta (m) a los 94 dds, para medir el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011

| Fuentes de variación | CM |
|---|-----------|
| Modelo | 0,0186 |
| Ciclo | 0,0002 ns |
| Error a | 0,0159 |
| Arreglo siembra | 0,0952 ** |
| Formas aplicación N | 0,0168 * |
| Arreglo siembra*Formas aplicación N | 0,0063 ns |
| Test vs resto | 0,0484 ** |
| Ciclo*Arreglo siembra | 0,0647 ** |
| Ciclo*Formas aplicación N | 0,0174 * |
| Ciclo*Arreglo siembra*Formas aplicación N | 0,0015 ns |
| Ciclo * testigo | 0,0263 * |
| Error b | 0,0050 |
| CV a % | 6,09 |
| CV b % | 3,42 |

La prueba de DMS al 5 % para las medias de arreglo de siembra de la siguiente figura, indica que la altura de planta en la siembra a doble hilera (s_2) ocupa el primer rango con un valor de 2,10 m, mientras que el arreglo de siembra en hilera simple (s_1) se ubica en el segundo rango con un promedio de 2,02 m de altura (Figura 16).

Es muy probable que la competencia por luz haya provocado que las plantas de maíz cultivadas a doble hilera consigan una mayor altura, puesto que se encuentran más juntas entre sí a pesar de tener la misma densidad de siembra que las de hilera simple.

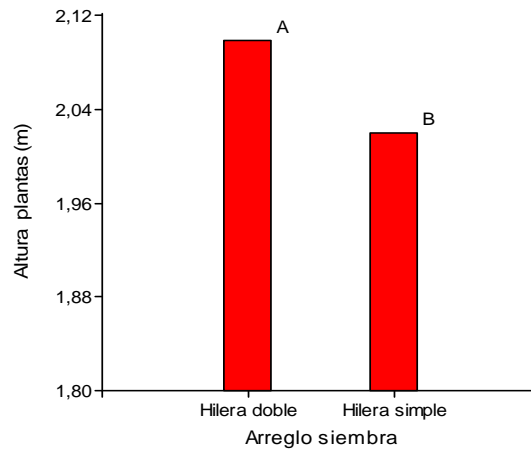


Figura 16. Efecto de los arreglos de siembra sobre la altura de plantas (m), a los 94 dds, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

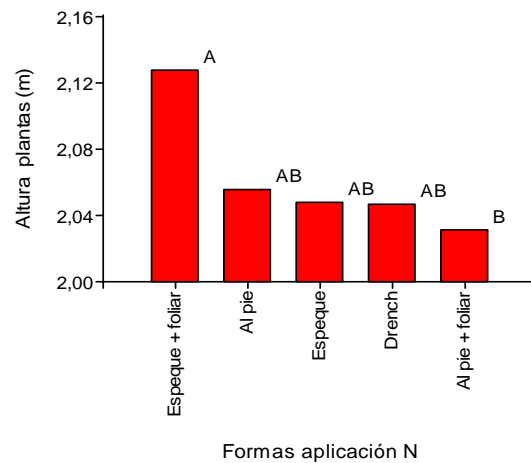


Figura 17. Efecto de las formas de aplicación de N sobre la altura de plantas (m), tomados a los 94 dds, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

La Figura 17 muestra dos rangos de significación, el rango A lo encabeza la forma de aplicación espeque + foliar (n_4) con una media de 2,125 m, el mismo que comparte con otras formas de aplicación de N y la menor media con rango B, la forma de aplicación al pie + foliar (n_2) (2,031 m).

Según Griffith *et al.* (1977) citado por Bordoli (2001), es conveniente la aplicación de fertilizante N localizado para mejorar la disponibilidad posicional del fertilizante, confirmando los resultados obtenidos en el presente ensayo, donde el sistema de aplicación con espeque presenta una mayor altura de planta que sumado la aplicación foliar de urea mejoró el crecimiento vegetativo del cultivo. En contraste, al colocar el fertilizante al pie de la planta sobre una capa de rastrojo impide la llegada al suelo y raíces, haciendo que este se pierda, lo que es corroborado por Ferrari *et al.* (1998) que sostienen que en aplicaciones de fertilizantes nitrogenados superficiales o sobre los restos de cosecha puede significar un incremento de las pérdidas de nitrógeno por volatilización, cuando la fuente nitrogenada utilizada es susceptible de sufrir pérdidas por esta vía como es el caso de la urea.

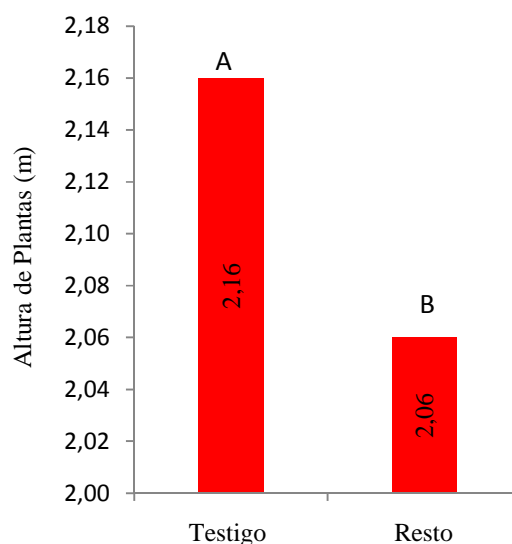


Figura 18. Efecto de la comparación del testigo vs el resto de tratamientos, en la altura de planta (m), para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

El contraste ortogonal entre el testigo (labranza convencional) y el resto de tratamientos (Figura 18) es altamente significativo a favor del testigo. Al tener un terreno preparado con suelo suelto mejora la expansión de las raíces por ende una mejor captación de nutrientes y su posterior elongación de tallo.

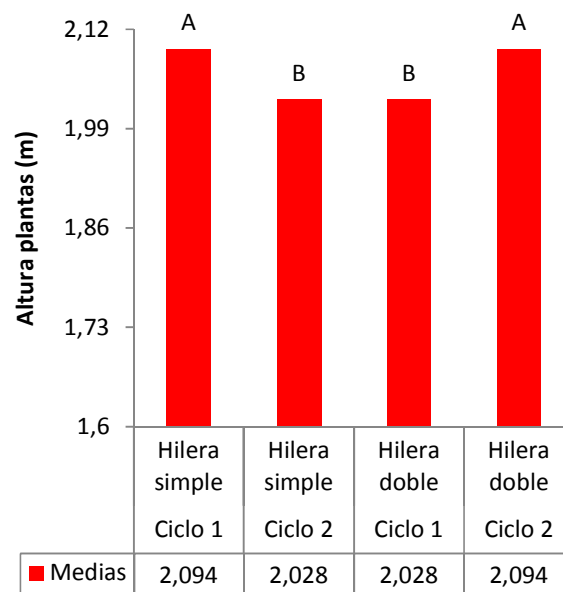


Figura 19. Efecto de la interacción ciclos por arreglos de siembra sobre la Altura de planta (m) a los 98 dds, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo del maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

La prueba DMS al 5 % (Figura 19), arroja dos rangos de significación. En hilera simple el ciclo 1 (6 Abril 2010) obtiene mayor altura que el ciclo 2 (3 Septiembre 2010) con una diferencia de 0,066 m , en hilera doble ocurrió lo contrario ya que el ciclo 2 obtuvo mayor altura 2,094 m que el ciclo 1 con la misma diferencia entre ambos.

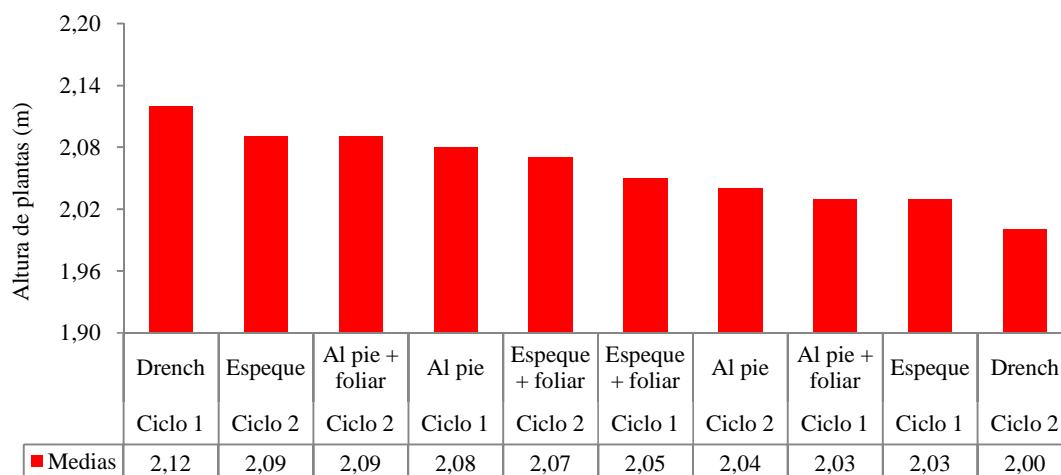


Figura 20. Efecto de la interacción ciclos de siembra por formas de aplicación de N en Altura de plantas (m), para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo del maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

La prueba de Tukey al 5 % en la Figura 20, arroja un solo rango de significación a pesar que en el ADEVA existen diferencias significativas, en este caso drench (n_5) que tiene la media más alta en el ciclo 1 (2,12 m), en el ciclo 2 es la forma de aplicar con la media más baja de todos los tratamientos (2,00 m).

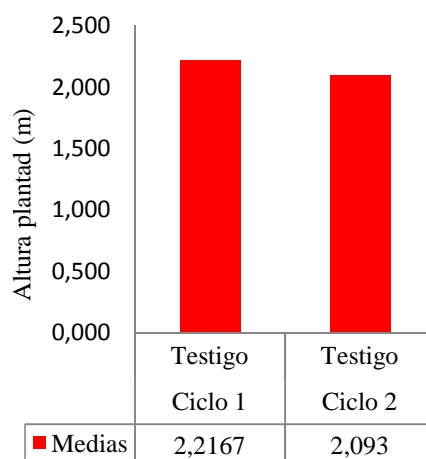


Figura 21. Efecto de la interacción ciclos de siembra por el testigo, sobre la Altura de plantas (m), para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo del maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

En la interacción ciclo de siembra por testigo de la prueba DMS al 5 % de la Figura 21, arrojó que en el Ciclo 1 (Abril 2010) el testigo (labranza convencional) alcanzó una altura de planta significativa frente al testigo del Ciclo 2 (Septiembre 2010); 2,216 m y 2,093 m respectivamente.

El ciclo de siembra influyó en el crecimiento de la planta de maíz, siendo el factor agua el que condiciona aptitudes del híbrido H – 551 (INIAP, 1990), en este ensayo el primer ciclo, fue de mayor precipitación que el segundo, corroborado por Segura y Andrade (2010) que obtuvieron similares resultados en el mismo periodo de siembra y utilizando el mismo híbrido.

4.4.2. Diámetro de Tallo

En el análisis de variación del Cuadro 6 se observa que no existen diferencias estadísticas en todas las fuentes de variación a excepción del contraste testigo vs el resto de tratamientos, donde el testigo (Labranza convencional) tiene mayor diámetro de tallo que el resto de tratamientos.

El CV (a) de 8,75 % y (b) de 5,16 % es aceptable.

Cuadro 11. Resumen del ADEVA, sobre la variable Diámetro de Tallo (cm), a los 57 dds, para medir el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

| Fuente de Variación | CM |
|---|-----------|
| Modelo | 0,016 |
| Ciclo | 0,0802 ns |
| Error a | 0,023 |
| Arreglo siembra | 0,0022 ns |
| Formas aplicación N | 0,0111 ns |
| Arreglo siembra*Formas aplicación N | 0,0077 ns |
| Test vs resto | 0,0489 * |
| Ciclo*Arreglo siembra | 0,0005 ns |
| Ciclo*Formas aplicación N | 0,0172 ns |
| Ciclo*Arreglo siembra*Formas aplicación N | 0,0076 ns |
| Ciclo * testigo | 0,0010 ns |
| Error b | 0,008 ns |
| CV a % | 8,75 |
| CV b % | 5,16 |

El contraste de el testigo vs resto de tratamientos de la figura siguiente arroja dos rangos de significancia, donde el testigo con rango A supera en diámetro (1,82 cm) al resto de tratamientos, los cuales poseen un promedio de (1,73 cm) (Figura 22). Lo obtenido concuerda con lo expresado por INIAP (1990); Morón (2002); Martínez (2008) y SICA (2009); donde indican que cuando se da a la planta un suelo suelto este puede extender más sus raíces y por ende formar un tallo más grueso, caso contrario si le proporcionamos un suelo compacto, para la planta se dificulta el desarrollo de las raíces, en siembra directa las raíces crecen menos que en aquellos suelos removidos por la labranza.

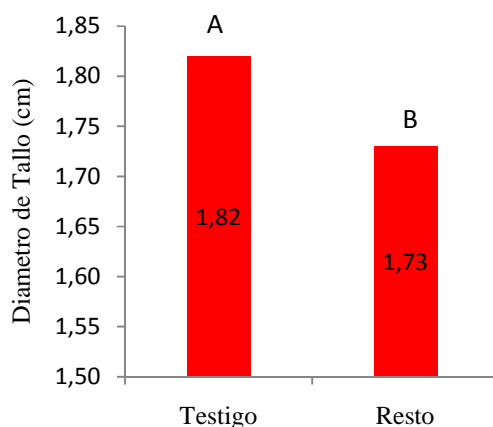


Figura 22. Efecto de la comparación testigo vs el resto de tratamientos, en el diámetro de tallo, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

Coincidiendo además con los resultados obtenidos en altura de planta en donde las plantas tienen el mismo efecto ya que nuevamente al parecer la remoción del suelo favorece al crecimiento radicular, oxigenan el suelo y permite una mayor actividad de los microorganismos y por tanto es posible aumentar la disponibilidad de ciertos nutrientes.

4.4.3. Altura de Inserción de la primera Mazorca

El análisis de varianza del Cuadro 12 determinó, diferencias altamente significativas para los arreglos de siembra, formas de aplicación del N, interacción arreglos de siembra por formas de aplicación del N, testigo vs el resto de tratamientos, ciclo por arreglo de siembra y ciclos de siembra por testigo, mientras que para la interacción ciclos por formas de aplicación del N hubo diferencia significativas.

Los CV (a) de 8,60 % y (b) de 4,05 %, es aceptable para este tipo de variable.

Cuadro 12. Resumen del ADEVA, sobre la variable Altura de Inserción de Mazorca (m) a los 88 dds, para medir el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011

| Fuente de Variación | CM | |
|--------------------------------------|--------|----|
| Modelo | 0,0150 | |
| Ciclo | 0,0464 | ns |
| Error a | 0,0090 | |
| Arreglo siembra | 0,0882 | ** |
| Formas aplicación N | 0,0077 | ** |
| Arreglo siembra*Formas aplicación | 0,0097 | ** |
| Test vs resto | 0,0157 | ** |
| Ciclo*Arreglo siembra | 0,0482 | ** |
| Ciclo*Formas aplicación N | 0,0066 | * |
| Ciclo*Arreglo siembra*Formas de apl. | 0,0033 | ns |
| Ciclo * testigo | 0,0306 | ** |
| Error b | 0,0020 | |
| CV a % | 8,60 | |
| CV b % | 4,05 | |

En la prueba de Tukey 5 %, expresado en la siguiente figura, presentó dos rangos de significación, el rango A lo encabeza el arreglo de hilera doble más la aplicación de urea al pie de la planta (s_2n_1) con una media de 1,155 m. Compartiendo el mismo rango otros tratamientos, a excepción del tratamiento en hilera simple con drench (s_1n_5), que ocupó el segundo rango con el promedio más bajo de 1,0117 m (Figura 23)

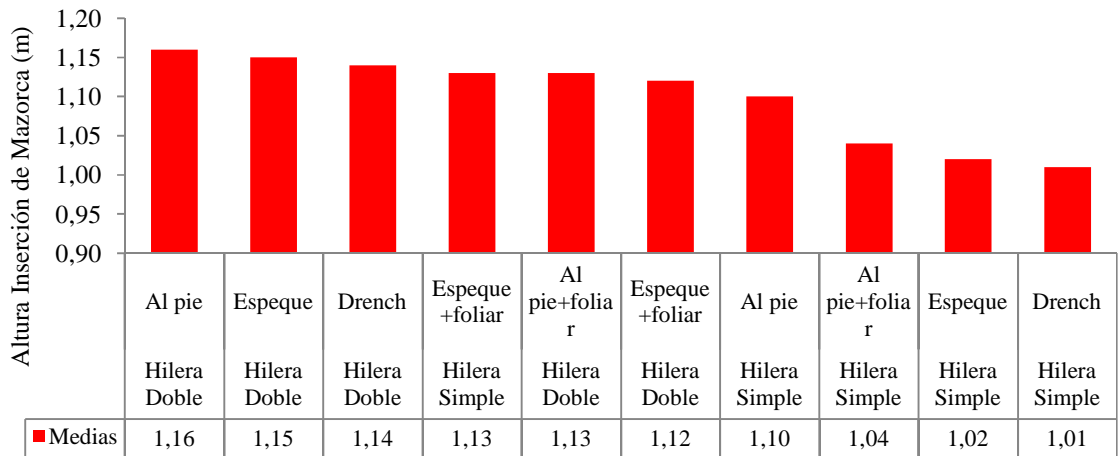


Figura 23. Efecto de la interacción arreglo de siembra por formas de aplicación de N, sobre la Altura de inserción de la primera mazorca (m) a los 88 dds, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

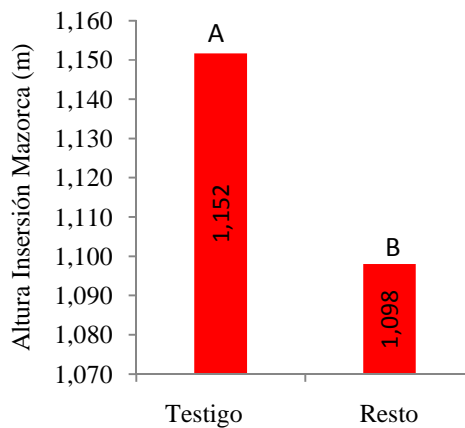


Figura 24. Efecto de la interacción testigo vs el resto de tratamientos, sobre la Altura de inserción de mazorca (m) a los 88 dds, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

La comparación entre testigo vs resto de tratamientos arroja dos rangos de significancia, donde podemos observar que el testigo (Labranza convencional) supera en altura a la

inserción de la primera mazorca (1,152 cm) al resto de tratamientos, los cuales poseen un promedio de (1,098 cm) (Figura 24).

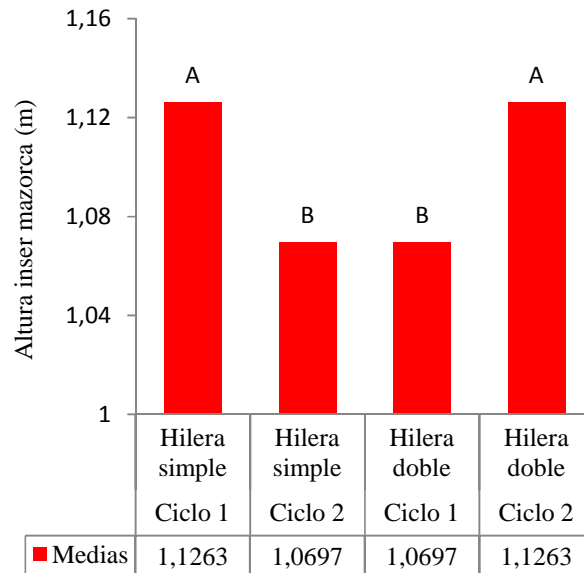


Figura 25. Efecto de la interacción ciclo x arreglo de siembra, sobre la Altura de inserción de mazorca (m) a los 88 dds, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo del maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

La prueba DMS al 5 % en la interacción ciclos por arreglos de siembra de la Figura 25, muestra que en el ciclo 1 (6 Abril 2010) la siembra a hilera simple junto con el ciclo 2 (3 Septiembre 2010) en hilera doble, ocuparon el primer rango con la mayor altura de inserción de la primera mazorca con valores de 1,12 m en ambos casos.

Observando los promedios de la Figura 26, se determina que el tratamiento drench (n_5) del ciclo 1 (6 Abril 2010) presentó el mejor promedio con 1,14 m de altura de inserción de la mazorca, sin embargo, la misma forma de aplicación fue la del promedio más bajo en el ciclo 2 (3 Septiembre de 2010) con 1,06 m.

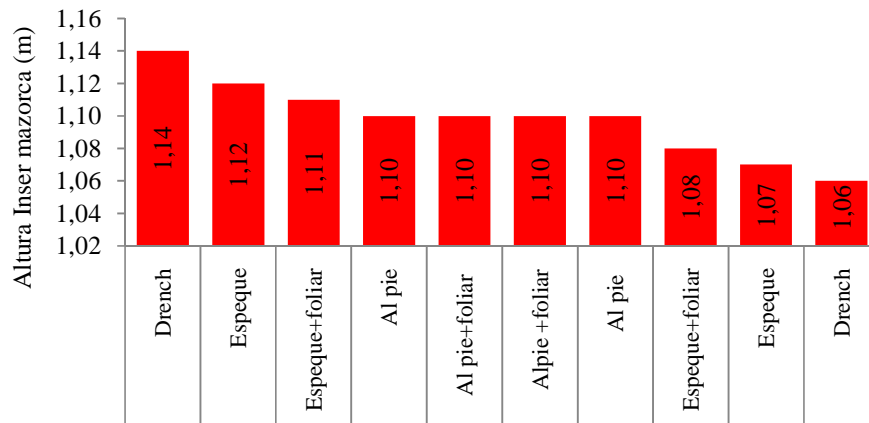


Figura 26. Efecto de la interacción ciclos de siembra por formas de aplicación de N, sobre la Altura de inserción de la primera mazorca, a los 88 dds, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

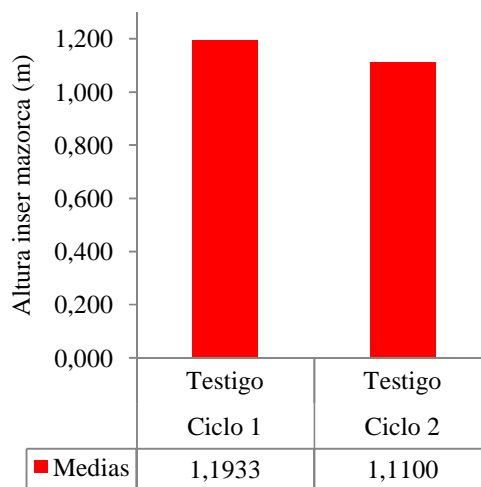


Figura 27. Efecto de la interacción ciclos de siembra por testigo, sobre la altura de inserción de la primera mazorca (m), a los 88 dds, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

Al realizar la prueba DMS al 5 %, se observa en la Figura 27, que la altura de inserción de la primera mazorca fue mayor en las plantas sembradas el 6 de Abril 2010 (Ciclo 1)

con un promedio de 1,19 m, mientras que las plantas sembradas en el siguiente ciclo (3 Septiembre 2010), tuvieron la menor altura de inserción de la primera mazorca con una media de 1,11 m.

Las condiciones ambientales, principalmente de precipitación pudieron influir en el desarrollo de las plantas ya que en el primer ciclo se obtuvo mayor volumen de lluvias, en igual situación se encuentra la variable altura de planta que obtuvo resultados similares.

4.4.4. Días a la Floración Masculina

Para esta variable el ADEVA mostró diferencias estadísticas altamente significativas para los ciclos de siembra, formas de aplicación de nitrógeno, la interacción testigo vs el resto de tratamientos, y ciclos por formas de aplicación de nitrógeno, mientras que se estableció diferencias estadísticas significativas para los arreglos de siembra (Cuadro 13).

En el mismo cuadro se observa que los CV de 1,87 % y 1,04 %, son bajos, dando confiabilidad a los resultados obtenidos.

Cuadro 13. Resumen del ADEVA, sobre la variable Días a la Floración Masculina, para medir el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

| Fuente de Variación | CM |
|---|-------------|
| Modelo | 78,478 |
| Ciclo | 1931,046 ** |
| Error a | 0,939 |
| Arreglo siembra | 1,350 * |
| Formas aplicación N | 2,608 ** |
| Arreglo siembra*Formas aplicación N | 0,558 ns |
| Test vs resto | 3,347 ** |
| Ciclo*Arreglo siembra | 0,817 ns |
| Ciclo*Formas aplicación N | 2,208 ** |
| Ciclo*Arreglo siembra*Formas aplicación N | 0,025 ns |
| Ciclo * testigo | 0,038 ns |
| Error b | 0,289 |
| CV a % | 1,87 |
| CV b % | 1,04 |

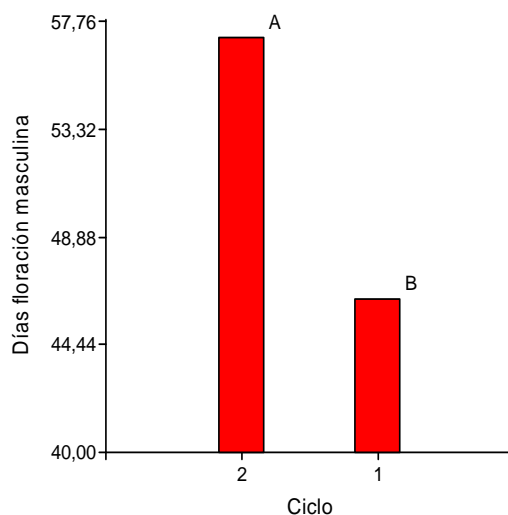


Figura 28. Efecto de los ciclos sobre los días a la floración masculina, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

En la Figura 28 se observa que las plantas sembradas en el ciclo 1 (6 de Abril 2010) presentaron una floración más rápida con un promedio de 46,30 días mientras que la floración fue más tardía en el ciclo 2 (3 de Septiembre 2010) con un promedio de 57,12 días.

Es probable que los factores de clima influenciaron para que la siembra realizada en el mes de Abril haya obtenido mayor precocidad al apareamiento de la flor masculina, ya que las precipitaciones para esta fecha fueron mayores y adicionalmente la intensidad lumínica es mayor en la época lluviosa (Enero – Mayo) en relación a la época seca (Julio – Noviembre).

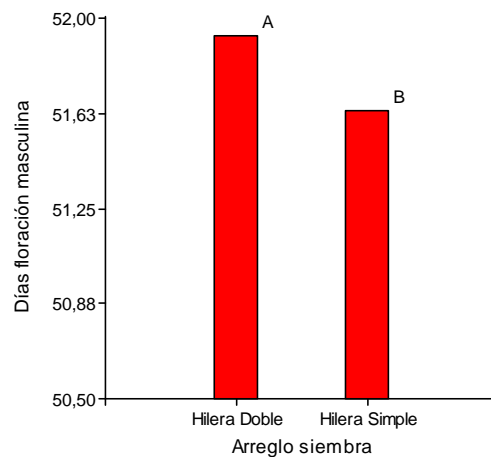


Figura 29. Efecto de los arreglos de siembra, sobre los Días a la floración masculina, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

En la Figura 29, la media de la floración masculina en la siembra a doble hilera ocupa el primer rango con 51, 933 días, mientras que el segundo rango con el promedio más bajo lo ocupó la siembra en hilera simple con 51, 633 días a la floración masculina.

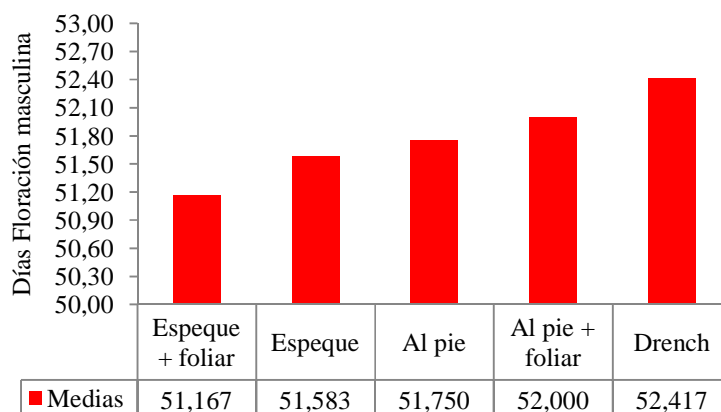


Figura 30. Efecto de las formas de aplicación de N, sobre los Días a la floración masculina, para evaluar de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de nitrógeno. Hda San Antonio, km 35. 2011.

Para las formas de aplicación de nitrógeno, el sistema utilizando con espeque + foliar (n_4), ocupó el primer rango a pesar de que otras formas de aplicación comparten el mismo, este tratamiento presentó un período más corto a la floración (51,167 días), sin embargo el promedio más alto de días a la floración fue para las aplicaciones en drench (n_5), con 52,417 días rango C (Figura 30).

Una planta bien nutrida se va a desarrollar con normalidad por consiguiente será más precoz a la floración y maduración de frutos, al realizar la aplicación utilizando espeque (n_4) el fertilizante se entierra, potenciando su efecto por estar en contacto con las raíces, por consiguiente el resultado obtenido, así lo ratifican, Griffith *et al.* (1977) citado por Bordoli (2001) que expresan la conveniencia de la aplicación de fertilizante N localizado e incorporado por la capa de residuos. Esta localización mejoraría además la disponibilidad posicional del fertilizante, al aplicarse cerca de las raíces del cultivo.

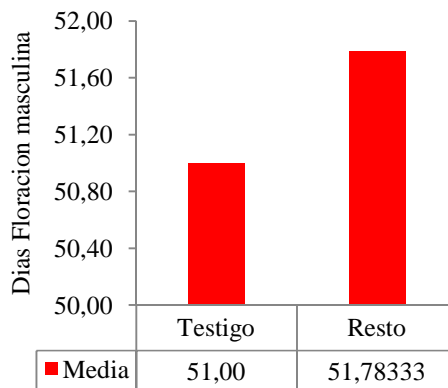


Figura 31. Efecto de la interacción testigo vs el resto de tratamientos, sobre los días a la floración masculina, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

La comparación entre el testigo vs resto de tratamientos arroja dos rangos de significancia, donde el testigo (Labranza convencional) llega a la floración masculina más temprano (51 días) que el resto de tratamientos, los cuales poseen un promedio de 51,78 días (Figura 31).

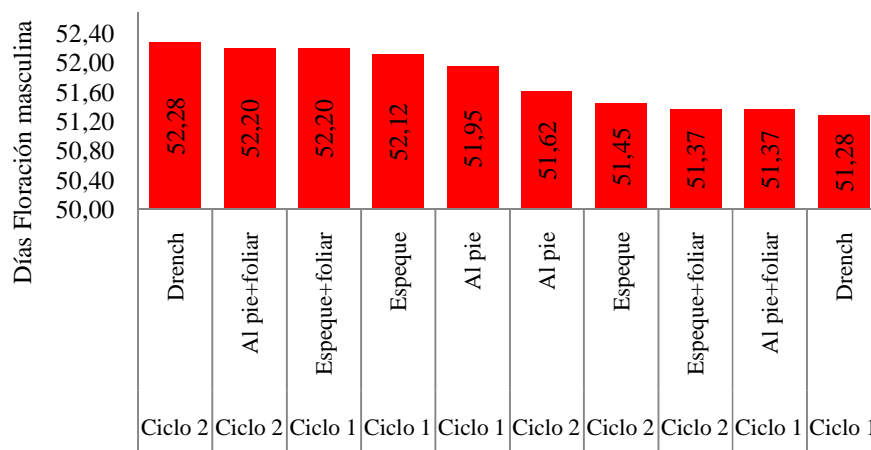


Figura 32. Efecto de la interacción ciclos de siembra por formas de aplicación de N, sobre los Días a la floración masculina, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

A pesar de que la prueba de Tukey al 5 %, arrojó un solo rango de significancia, el ADEVA indica que la interacción ciclo por forma de aplicación es altamente significativa, presentando el promedio más alto las plantas sembradas en el Ciclo 2 (Septiembre 2010) con aplicación en drench (n₅) con 52, 28 días, en contraste esta forma de aplicación de N fue la de menor promedio en el ciclo 1 (Abril 2010) con 51,28 días, lo que es favorable para aumentar el período reproductivo del maíz (Figura 32).

4.4.5. Días a la Madurez Fisiológica Total

En el Cuadro 14 el análisis de varianza presenta diferencias altamente significativas para ciclos de siembra, arreglos de siembra y testigo vs el resto de tratamientos. Para el resto de variables no se encontró significación estadística alguna. Los CV (a) de 0,30 % y (b) de 0,52 %, son aceptables y validan los resultados obtenidos.

En la labranza del suelo como se ha mencionado en las variables anteriores, la planta encuentra comodidad de desarrollo por estar el suelo suelto, fácil de obtener los nutrientes y de desarrollar sus raíces, pero en ese beneficio encontramos una serie de desventajas como destrucción de suelo, macro y meso fauna, afloramiento de plagas, desgaste de suelo, erosión, etc.

La misma permite la remoción del suelo alrededor de las raíces, estimulando su crecimiento y volviendolás más eficientes en la captación de agua y nutrientes, lo que pudo repercutir en acortar el periodo de maduración fisiológica.

Cuadro 14. Resumen del ADEVA, sobre la variable Días a la Madurez Fisiológica Total, para medir el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

| Fuente de Variación | CM |
|-------------------------------------|------------|
| Modelo | 12,0806 |
| Ciclo | 28,3788 ** |
| Error a | 0,1212 |
| Arreglo siembra | 2,8167 ** |
| Formas aplicación N | 0,4417 ns |
| Arreglo siembra*Formas aplicación N | 0,1917 ns |
| Test vs resto | 6,0136 ** |
| Ciclo*Arreglo siembra | 0,4167 ns |
| Ciclo*Formas aplicación N | 0,3583 ns |
| Ciclo*Arreglo siembra*Formas | 0,875 ns |
| Ciclo * testigo | 0,4379 ns |
| Error b | 0,3712 |
| CV a % | 0,30 |
| CV b % | 0,52 |

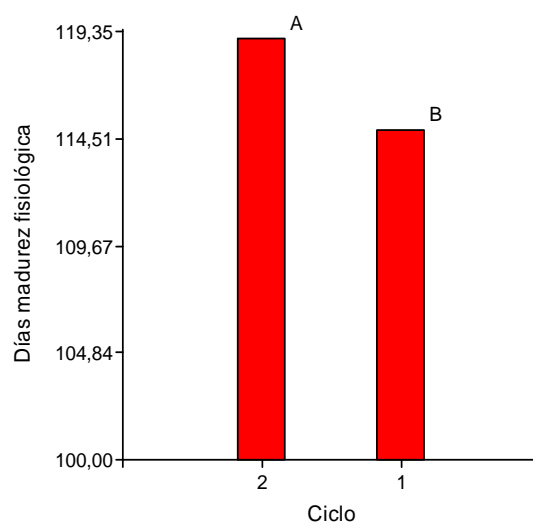


Figura 33. Efecto del ciclo de siembra en los días a la madurez fisiológica, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

En la Figura 33 se observan dos rangos de significancia, donde el ciclo 2 (3 septiembre 2010) que ocupa el primer rango, tiene más días a la maduración fisiológica con una media de (119,030 días), superando al ciclo 1 con media de (114,878 días), por su precocidad de menos 4,15 días al apareamiento de la misma.

Estos resultados tienen estrecha relación con los días a la floración masculina donde se presentó similar comportamiento y al cual se lo atribuye al factor climático y debido a que la flor apareció más temprano en el ciclo 1 sembrado el 6 de Abril 2010, es razonable que la madurez fisiológica se haya adelantado para el mismo ciclo, mayor precipitación y luminosidad pudieron incidir en el resultado.

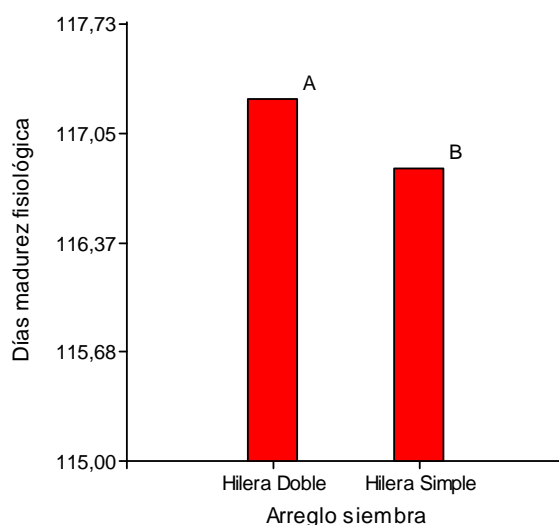


Figura 34. Efecto de los arreglos de siembra sobre los días a la madurez fisiológica, para evaluar la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

En la Figura 34, la siembra a doble hilera ocupa el rango A (117,267 días) superando significativamente en un día a la madurez fisiológica de los tratamientos en hilera simple con rango B (116,833 días).

Es probable que al sembrar en hilera doble las plantas de maíz tengan más competencia de espacio y luz, lo que no ocurre en hilera simple donde las plantas están más cómodas beneficiando a la mayor captación de luminosidad, por tanto estimulación de crecimiento lo que hizo reducir sus días a la madurez fisiológica total.

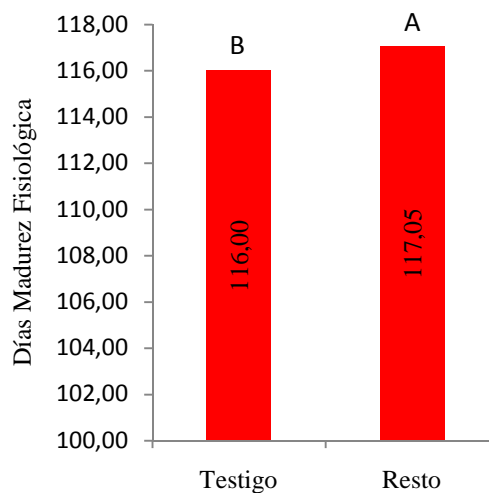


Figura 35. Efecto de la interacción testigo vs el resto de tratamientos, sobre los días a la madurez fisiológica, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el desarrollo de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

La comparación entre el testigo vs resto de tratamientos arroja dos rangos de significancia, donde el testigo (Labranza convencional) llega a la madurez fisiológica total más temprano (116 días) que el resto de tratamientos, los cuales poseen un promedio de 117,05 días (Figura 35).

4.4.6. Rendimiento (grano seco)

En el Cuadro 15, el análisis de varianza presenta diferencias altamente significativas entre ciclos de siembra. Para el resto de variables no se encontró significación estadística alguna. Los CV (a) de 12,85 % y (b) de 12,79 %, son aceptables y validan los resultados obtenidos

Cuadro 15. Resumen del ADEVA, sobre la variable Rendimiento de grano seco (al 13 % humedad) en kg/ha, para medir el efecto de la siembra directa sobre el rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz. Hda San Antonio, km 35. 2011.

| Fuente de Variación | CM | |
|------------------------------|------------|----|
| Modelo | 1202297,66 | |
| Ciclo | 25633998,4 | ** |
| Error a | 209783,124 | |
| Tratamientos | 217204,391 | ns |
| Arreglo siembra | 521045,792 | ns |
| Formas aplicación N | 125385,572 | ns |
| Arreglo siembra*Formas apl.. | 96503,068 | ns |
| Test vs resto | 763443,557 | ns |
| Ciclo*Tratamientos | 141226,667 | ns |
| Ciclo*Arreglo siembra | 45051,6282 | ns |
| Ciclo*Formas aplicación N | 51390,3729 | ns |
| Ciclo*Arreglo siembra*Form.. | 290365,616 | ns |
| Ciclo * testigo | 191,0868 | ns |
| Error b | 207689,951 | |
| CV a | 12,85 | |
| CV b | 12,79 | |

En la Figura 35 se observan dos rangos de significancia, donde el segundo ciclo sembrado el 3 de Septiembre (2010) ocupa el primer rango con un rendimiento

promedio de 4187,51 Kg ha⁻¹, mientras que el primer ciclo sembrado el 6 de Abril (2010) tuvo un rendimiento medio de 2941,08 Kg ha⁻¹.

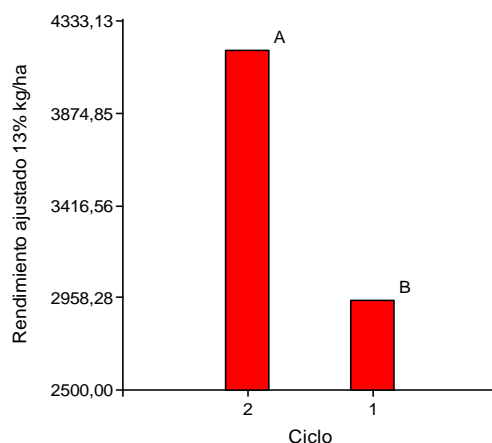


Figura 36. Efecto de los ciclos de siembra sobre el Rendimiento de grano ajustado al 13% de humedad, para evaluar el efecto de la siembra directa sobre el rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Hda San Antonio, km 35. 2011.

El factor que más inciden en el rendimiento a más del manejo, es el climático, principalmente luminosidad y precipitación.

El maíz requiere una Heliofanía en promedio de una a dos horas luz/día (INIAP, 1990). En el primer ciclo de siembra (Abril-Julio) se registró una heliofanía promedio de 1,47 horas luz/día, mientras que en el segundo ciclo de siembra (Septiembre-Diciembre) se registró un promedio de 0,91 horas luz/día (Estación meteorológica Puerto Ila del INAMI, 2010). Esto descartaría la incidencia de la falta de intensidad lumínica sobre el menor rendimiento obtenido en el periodo Abril-Julio.

En cuanto a la precipitación durante el primer ciclo de siembra (Abril-Julio), alcanzó un volumen de 1122,50 mm y en el segundo ciclo de siembra (Septiembre-Diciembre)

fue de 435,80 mm, siendo el requerimiento de máximo 600 mm de agua bien distribuido durante el ciclo de producción (INIAP, 1990).

Analizando la distribución de las lluvias se determinó que el mayor volumen de precipitación se registró en el mes de abril (826,80 mm), la diferencia de 295,70 mm se distribuyó en los siguientes meses (mayo, junio y julio). Este exceso de humedad en el primer mes de siembra sería la principal causa de los rendimientos más bajos obtenidos durante el periodo Abril-Julio. Si bien en el periodo Septiembre-Diciembre la precipitación fue mucho menor, ésta tuvo una mejor distribución en los cuatro meses del ciclo productivo del maíz, proporcionando suficiente humedad para garantizar un mejor rendimiento. Resultados similares de rendimiento fueron descritos por Segura y Andrade (2010), que sembraron maíz con el mismo híbrido, en la misma zona y en iguales épocas de siembra.

4.5. ANÁLISIS ECONÓMICO

En los Cuadros 16 y 17 que se describen más abajo, se incluyen la cuantificación y valoración de los insumos, mano de obra y producción que varían entre los sistemas, utilizando los rendimientos ajustados al 10 %. Se observan así los valores de los costos que varían entre los tratamientos del ensayo, costos totales que se implican finalmente en la obtención del beneficio neto del primero y segundo ciclo, permitiendo determinar cuál de las opciones evaluadas incrementa mayormente el ingreso neto. Para esto se partió con del beneficio bruto, en el cual el rendimiento de campo ajustado al 13 % de humedad se multiplicó por el precio de campo, que fue 0,22 centavos para los dos ciclos.

Cuadro 16. Rendimiento (kg/ha), costos y beneficios netos (dólares) del primer ciclo

| TRATAMIENTOS | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Especificación | Primer Ciclo de Maíz | | | | | | | | | | |
| | Hilera Simple | | | | | Hilera Doble | | | | | Testigo |
| | s1n1 | s1n2 | s1n3 | s1n4 | s1n5 | s2n1 | s2n2 | s2n3 | s2n4 | s2n5 | |
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | |
| Rendimiento Neto (kg/ha) | 2784,33 | 3037,97 | 3139,46 | 2943,65 | 2643,80 | 2982,94 | 2922,39 | 3020,76 | 3195,44 | 3085,55 | 2595,59 |
| Rendimiento ajustado 10% | 2505,89 | 2734,18 | 2825,52 | 2649,29 | 2379,42 | 2684,65 | 2630,15 | 2718,68 | 2875,90 | 2777,00 | 2336,03 |
| Beneficio bruto campo | 550,38 | 600,52 | 620,58 | 581,87 | 522,60 | 589,64 | 577,67 | 597,11 | 631,64 | 609,92 | 513,07 |
| Costos que Varian | | | | | | | | | | | |
| Prepar Terreno | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 64,00 |
| Fertilizantes | 352,10 | 352,15 | 352,10 | 352,15 | 425,83 | 352,10 | 352,15 | 352,10 | 352,15 | 425,83 | 387,63 |
| Mano Obra Prep Terreno | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 0,00 |
| Mano Obra Siembra | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 40,00 |
| Mano Obra Fertilización | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 56,00 | 56,00 | 56,00 | 56,00 | 56,00 | 48,00 |
| Costo Total Varia | 460,10 | 460,15 | 460,10 | 460,15 | 533,83 | 476,10 | 476,15 | 476,10 | 476,15 | 549,83 | 539,63 |
| Beneficio Neto | 90,28 | 140,37 | 160,48 | 121,73 | -11,23 | 113,54 | 101,52 | 121,01 | 155,50 | 60,09 | -26,56 |

Cuadro 17. Rendimiento (kg/ha), costos y beneficios netos (dólares) del segundo ciclo

| Especificación | TRATAMIENTOS | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Segundo Ciclo Maíz | | | | | | | | | | |
| | Hilera Simple | | | | | Hilera Doble | | | | | Testigo |
| | s1n1 | s1n2 | s1n3 | s1n4 | s1n5 | s2n1 | s2n2 | s2n3 | s2n4 | s2n5 | |
| T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | |
| Rendimientos Netos (kg/ha) | 4073,00 | 4096,08 | 3714,18 | 4591,67 | 4027,01 | 4080,08 | 4540,85 | 4521,93 | 4224,35 | 4340,65 | 3852,78 |
| Rendimiento ajustado 10% | 3665,70 | 3686,47 | 3342,77 | 4132,50 | 3624,31 | 3672,07 | 4086,76 | 4069,73 | 3801,92 | 3906,59 | 3467,50 |
| Beneficio bruto campo | 805,11 | 809,67 | 734,18 | 907,64 | 796,02 | 806,51 | 897,59 | 893,85 | 835,03 | 858,02 | 761,58 |
| Costos que Varian | | | | | | | | | | | |
| Preparación Terreno | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 64,00 |
| Fertilizantes | 352,10 | 352,15 | 352,10 | 352,15 | 425,83 | 352,10 | 352,15 | 352,10 | 352,15 | 425,83 | 387,63 |
| Mano Obra Prep Terreno | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 0,00 |
| Mano Obra Siembra | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 40,00 |
| Mano Obra Fertilización | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 56,00 | 56,00 | 56,00 | 56,00 | 56,00 | 48,00 |
| Costo Total Varia | 460,10 | 460,15 | 460,10 | 460,15 | 533,83 | 476,10 | 476,15 | 476,10 | 476,15 | 549,83 | 539,63 |
| Beneficio Neto | 345,01 | 349,53 | 274,08 | 447,49 | 262,19 | 330,41 | 421,44 | 417,75 | 358,88 | 308,19 | 221,95 |

Una vez que se determinó los beneficios netos, el paso a seguir fue el análisis de dominancia de los dos ciclos (Cuadro 18), este cuadro señala que tratamientos son dominados o no dominados, para luego crear la tabla de la tasa de retorno marginal que se analiza en base a los tratamientos no dominados del presente ensayo.

El análisis marginal del Cuadro 19 se utilizó para calcular las tasas marginales de retorno entre tecnologías, procediendo paso a paso de una tecnología de bajo costo a la

siguiente de costo mayor, y comparando la tasa de retorno marginal con la mínima aceptada por el agricultor que se estableció en 100 %; en este mismo cuadro se identifican los tratamientos no dominados con sus respectivos costos totales y beneficios netos, para en base a estos valores calcular los costos y beneficios marginales y así determinar la tasa de retorno marginal. Permitiendo así hacer la recomendación y selección del mejor sistema alternativo frente al testigo (Labranza convencional).

Cuadro 18. Análisis de Dominancia de dos ciclos de producción de maíz en la Hda. San Antonio, Sto Dgo-Quevedo. km 35

| Tratamientos | | Costos Totales que Varían | Beneficio Neto | Dominancia | |
|-----------------------|---------|---------------------------|----------------|------------|-------------|
| Primer Ciclo de Maíz | s1n1 | T1 | 460,10 | 90,28 | No dominada |
| | s1n3 | T3 | 460,10 | 160,48 | No dominada |
| | s1n4 | T4 | 460,15 | 121,73 | Dominada |
| | s1n2 | T2 | 460,15 | 140,37 | No dominada |
| | s2n1 | T6 | 476,10 | 113,54 | Dominada |
| | s2n3 | T8 | 476,10 | 121,01 | No dominada |
| | s2n2 | T7 | 476,15 | 101,52 | Dominada |
| | s2n4 | T9 | 476,15 | 155,50 | No dominada |
| | s1n5 | T5 | 533,83 | -11,23 | Dominada |
| | s2n5 | T10 | 549,83 | 60,09 | Dominada |
| | Testigo | T11 | 539,63 | -26,56 | Dominada |
| Segundo Ciclo de Maíz | s1n3 | T3 | 460,10 | 274,08 | No dominada |
| | s1n1 | T1 | 460,10 | 345,01 | No dominada |
| | s1n2 | T2 | 460,15 | 349,53 | No dominada |
| | s1n4 | T4 | 460,15 | 447,49 | No dominada |
| | s2n1 | T6 | 476,10 | 330,41 | Dominada |
| | s2n3 | T8 | 476,10 | 417,75 | No dominada |
| | s2n4 | T9 | 476,15 | 358,88 | Dominada |
| | s2n2 | T7 | 476,15 | 421,44 | No dominada |
| | s1n5 | T5 | 533,83 | 262,19 | Dominada |
| | Testigo | T11 | 539,63 | 221,95 | Dominada |
| | s2n5 | T10 | 549,83 | 308,19 | No dominada |

El análisis del presupuesto parcial en este ensayo determinó que el arreglo en hilera doble + aplicación de N con espeque (s_{2n3}) presentan una TRM de 121,33 % y 186,41 % en el ciclo 1 y ciclo 2 respectivamente. El tratamiento en hilera doble y urea aplicada en drench (s_{2n5}) en el ciclo 2, también presentó una TRM superior al 100 % con un porcentaje de 153,70 %. (Cuadro 19)

Cuadro 19. Tasa de Retorno Marginal en dos ciclos de producción de maíz en la Hda. San Antonio, Sto Dgo-Quevedo. km 35

| Tratamientos | | | Costos Totales Varían | Costos Marginales | Beneficio Neto | Beneficios Marginales | Tasa Retorno Marginal (%) |
|---------------|------|-----|-----------------------|-------------------|----------------|-----------------------|---------------------------|
| Primer Ciclo | s1n1 | T1 | 460,10 | - | 90,28 | - | - |
| | s1n3 | T3 | 460,10 | 0,00 | 160,48 | 70,20 | ∞ |
| | s1n2 | T2 | 460,15 | 0,05 | 140,37 | 20,11 | 43712,02 |
| | s2n3 | T8 | 476,10 | 15,95 | 121,01 | 19,36 | 121,33 |
| | s2n4 | T9 | 476,15 | 0,05 | 155,50 | 34,48 | 74963,03 |
| Segundo Ciclo | s1n3 | T3 | 460,10 | - | 274,08 | - | - |
| | s1n1 | T1 | 460,10 | 0,00 | 345,01 | 70,93 | ∞ |
| | s1n2 | T2 | 460,15 | 0,05 | 349,53 | 4,52 | 9816,47 |
| | s1n4 | T4 | 460,15 | 0,00 | 447,49 | 97,96 | ∞ |
| | s2n3 | T8 | 476,10 | 15,95 | 417,75 | 29,74 | 186,41 |
| | s2n2 | T7 | 476,15 | 0,05 | 421,44 | 3,69 | 8029,18 |
| | s2n5 | T10 | 549,83 | 73,69 | 308,19 | 113,26 | 153,70 |

V. CONCLUSIONES

1. El perfil del suelo presenta una disposición de horizontes tipo $A_p/B_1/B_2/A_{tb}$; presentan un color café oscuro en superficie a café amarillento en profundidad y un horizonte enterrado (A_{tb}) del mismo color que el horizonte A_p .
2. La densidad aparente promedio hasta los 30 cm es de $1,3 \text{ g/cm}^3$ y la capacidad de retención de agua entre capacidad de campo y punto de marchitez es de 12,43 %. Presenta una textura franco limoso.
3. El contenido de materia orgánica es medio en la superficie, son suelos lixiviados, nivel de cationes muy bajos ($K= 0,66$; $Ca= 3,75$; $Mg= 0,66$; cmol/kg); y el pH es ligeramente ácido (5,98).
4. Por las condiciones específicas del sitio de ensayo, se ha considerado a este suelo agrológicamente de clase II_s ; suelos de mediana capacidad productiva, donde es necesaria la utilización de fertilizantes para desarrollar cualquier tipo de agricultura y prácticas de conservación para contrarrestar compactación.
5. La variación de la humedad del suelo durante el ensayo en los distintos tratamientos, permite concluir que la presencia de rastrojo por efecto del sistema de siembra directa ayudó a que el agua se retenga en mayor grado en el suelo, lo que permitió conservar mayor humedad durante la época seca.

6. La MO experimentó incremento en relación al estado inicial del ensayo, tanto en labranza convencional como SD, siendo ligeramente mayor en el primer caso, resultado lógico al haberse incorporado el rastrojo inicial y aquel proveniente de la primera cosecha de maíz. Por el contrario en siembra directa, la MO se acumuló en la superficie lo que no contribuyó a su incremento en el suelo.
7. El correcto desarrollo del maíz dependerá del contenido nutricional del suelo. Para lo cual se obtuvo en el ensayo que tanto el Azufre como el Boro aumentaron en Labranza convencional con respecto al análisis inicial y disminuyeron su concentración en Siembra directa. El Nitrógeno y Potasio aumentaron su concentración en los dos tipos de labranza en contraste con el análisis inicial y el Fósforo arrojó valores bajos en los dos tipos de labranzas en contraste con la concentración inicial.
8. Los tratamientos en siembra directa presentaron mayor meso y macro fauna edáfica del suelo comparado con la labranza convencional o testigo, donde al no poseer rastrojo en la superficie le restó biodiversidad y cantidad de insectos.
9. La aplicación de N con espeque + aspersiones foliares de urea estimularon una mejor altura de planta, así como también la altura de inserción de la primera mazorca y mayor precocidad en cuanto a la floración masculina.
10. En cuanto al efecto de los factores en estudio sobre la fenología del cultivo, se determinó que para la variable altura de planta, diámetro de tallo y altura de

inserción de la primera mazorca, no hubo diferencias estadísticas en los 2 ciclos de siembra, en contraste se encontraron diferencias estadísticas para los días a la floración masculina y días a la maduración fisiológica total, mostrando mayor precocidad las plantas sembradas en el periodo Abril-Julio 2010.

11. Con base a los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye que los mejores rendimientos se alcanzaron sembrando el maíz en la época seca (Septiembre).
12. El análisis del presupuesto parcial determinó, que el arreglo de siembra a doble hilera y la aplicación de urea con espeque en los dos ciclos de siembra, presentaron una TRM superior a la tasa mínima esperada por el agricultor que se estableció en 100 %.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la fertilización de N con espeque para siembra directa en maíz, y si se dispone de mano de obra la aplicación adicional de urea diluida por vía foliar (25 g/L agua).
2. El arreglo de siembra de maíz a doble hilera puede ser una alternativa económicamente viable para siembra mecanizada, no así si ésta se la efectúa manualmente.
3. Se puede recomendar económicamente al agricultor la siembra de hilera doble y aplicación de urea con espeque para cualquier época, ya que en el análisis de TRM este se presentó como el mejor en los dos ciclos.
4. Es necesario se de continuidad a este ensayo con el fin de recabar información acerca de los cambios que ocurren en el suelo y en el rendimiento de maíz bajo el sistema de siembra directa.
5. Investigar el potencial beneficio o perjuicio de la meso y macro fauna que se prolifera en siembra directa.
6. Realizar ensayos más específicos, que permitan determinar el mejor periodo de siembra para la zona. De acuerdo a los resultados de la presente investigación y de otra realizada anteriormente, se sugiere para la zona de estudio sembrar el maíz en Septiembre.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, T. y Villarroel, F. 2008. Estudio Agrologico y con Fines de Riego de la finca Ernesto Molestina, Cantón Santo Domingo. Escuela Politécnica de Ejército. Tesis de Grado. 71-72,87-89,168 y 187 p.
- Barbagelata, P.; Paparotti, O. 2000. Maíz, Jornada de Intercambio Técnico del Maíz. Estrategias de Fertilización Fosforada del Maíz en Siembra Directa. AAPRESID (Asociación de Productores en Siembra Directa). INTA-EEA Paraná, Argentina. Págs. 15-17
- Bertsch, F. 2003. Absorción de Nutrientes por los cultivos. San José, Costa Rica, ACCS. Pág. 56
- Bizet, H. 2000. Resultados de Ensayos sobre Control de Malezas en Maíz en Siembra Directa – Campana 1999/2000. AAPRESID-Rhone-Poulenc.
- Bordoli, J. 2001. Dinámica de Nutrientes y Fertilización en Siembra Directa. Siembra Directa en el Cono Sur, Programa Cooperativo para el desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial (PROCISUR). Montevideo, Uruguay. Págs. 289-294

- Castiglioni, E. 2000. Siembra sin Laboreo de cultivos y pasturas. Manejo de la Fauna del Suelo e Insectos Plaga. INIA, PROCISUR, Paysandú, Uruguay. Págs. 89-100.
- Crovetto, C. 1999. Rentabilidad y Sustentabilidad con Siembra Directa. 7° Congreso Nacional de AAPRESID. Chile.
- De Benito Muñoz A. y Sombrero Sacristán A. 2008. Fijación de Carbono en el Suelo en Agricultura de Conservación. (ITAC y L) Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Consultado 27 ene. 2010. Disponible en <http://www.jcyl.es/.../pdf;...%20Fijación%20de%20carbono%20en%20el%20suelo>
- De La Loma, J. L. 1966. Experimentación Agrícola. 2^{da} ed. México D.F. 493 p.
- Domínguez, J.; Aira, M.; Gómez-Brandón, M. 2007. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. Asociación Española de Ecología Terrestre. Consultado 31 de ene. 2010. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net/>
- FAO, 2009. Guía para la descripción de perfiles de Suelo.
- Fontanetto, H.; Keller, O.; Inwinkelried, R.; y Citroni, N., 2000. Maíz en Siembra Directa. Efecto del Fosforo y del Azufre en Maíz. Jornada de Intercambio Técnico de Maíz. AAPRESID, Zona norte, Centro y Sur, Santa Fe. Págs. 45-48

García, F. 1997. La Fertilización en Siembra Directa. Resúmenes del Seminario Siembra Directa. Experiencias del INTA mirando al futuro. 8 y 9 de Octubre de 1997, Buenos Aires, Argentina.

García, F. 2002. Agricultura Sustentable y Materia Orgánica del Suelo: Siembra Directa, Rotaciones y Fertilidad. IMPOFOS, Buenos Aire – Argentina. Consultado 6 feb. 2010. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/9E4440F53262118E03256DB8006C21FD](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/9E4440F53262118E03256DB8006C21FD)

García, F. 2005. IMPOFOS. Criterio para la fertilización de Maíz. Jornada para la capacitación agropecuaria. Argentina. Pág. 2

García, F. y Fabrizzi, K. 2001. Efectos de la Siembra Directa. Dinámica del Nitrógeno en Ecosistemas agrícolas. Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR. Balcarce, Argentina, Págs. 299-317

García, P. y Mejía, J. 2005. Control Químico de Malezas en Maíz en un Sistema de Siembra Directa. Vol. 55 AGRONOMÍA TROPICAL No. 3. INIA y Universidad Central de Venezuela (UCV). Consultado 23 ene. 2010. Disponible en <http://www.scielo.org.ve/pdf/at/v55n3/art03.pdf>

GEOPLADES, 2009. Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. Geografía Planificación y Desarrollo. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Quito-Ecuador.

Gizzi, A. *et al.* 2002. Caracterización de la Meso y de la Macrofauna Edáficas en Sistemas de Cultivo del Sudeste Bonaerense. Unidad Integrada Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP)-EAA INTA. Argentina. Consultado 5 feb. 2010.

Disponible en

<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/posters/37/GizziFoto1.htm>

INIAP, 1990. INIAP H-551. Híbrido de maíz para la Zona Central del Litoral. Programa de maíz, EET - Pichilingue. Plegable divulgativo N° 112.

INIFAP-CIRNO. 2008. Guía para la Asistencia Técnica Agrícola para 2 Área de Influencia del Campo Experimental Valle del Fuerte. Campo Experimental Valle del Fuerte. Agenda Técnica, Sexta Edición. Sinaloa, México. 208 p. Consultado 22 ene. 2010. Disponible en

http://www.fps.org.mx/divulgacion/index.php?option=com_remository&Itemid=269&func=startdown&id=91

Iñiguez, M. 1999. Manejo y Conservación de Suelos y Aguas. Universidad Técnica de Machala. 1era ed. Loja – Ecuador. 351 p.

Lonardoni, L. 2000. Impacto Sobre o Medio Ambiente Plantío directo. IICA. Págs. 38-39.

Lorenzatti, S. *et al.* 2000. El cultivo de maíz en siembra directa. (AAPRESID) Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. Consultado 21 ene. 2010. Disponible en <http://www.a-campo.com.ar/espanol/maiz/maiz5.htm>

Martínez, A. 2008. Memoria Jornada de Transferencia de Tecnología del Cultivo de Maíz, Fundación Produce Sinaloa A.C. Consultado 23 ene. 2010. Disponible en http://www.fps.org.mx/divulgacion/images/stories/que_hacemos/publicaciones/test/jornada%20de%20transferencia%20de%20tecnologia%20del%20cultivo%20del%20maiz.pdf

Martos, A. *et al.* 2007. Manual Práctico de Entomología General, Lima-Perú

Morón, A. 2002. Siembra Directa en el Cono Sur. El Rol de los Rastrojos en la Fertilidad del Suelo. Programa cooperativo para el desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR).INIA. Uruguay. Págs. 387-401

Munro, D. *et al.* 1994. Manejo de Malezas en Maíz bajo Labranza de Conservación en la parte Central de México. CIPAC-INIFAP-SAGAR. Consultado 21 ene 2010.

Disponible en

<http://agecon.okstate.edu/isct/labranza/olmos/ponencia.doc>

Ordóñez, R.; González P.; Giráldez, J. 2002. Evolución de la Materia Orgánica en Suelos a Largo Plazo. Departamento Suelos y Riegos. CIFA-Alameda del Obispo. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Departamento de Agronomía, ETSIAM, Universidad de Córdoba. Consultado 6 feb. 2010.

Disponible en

<http://www.aeac-sv.org/pdfs/materiaorganica.pdf>

Perrín, R; Winkelman, D; Monstardie, E; Anderson, J. 1966. Formulación de datos agronómicos. Manual metodológico de educación Económica – 3ª Impresión.

México DF, CYMMIT. 54p

Puerto Ila. 2010. Datos de la Estación Meteorológica. Puerto-Ila del INAMI. Sto Dgo-Quevedo, Km 35.

Quiroga, A.; Ormeño, O.; Peinemann, N. 2000. Siembra Directa. Efectos de la Siembra Directa sobre Propiedades Físicas de los Suelos. MORGAN-MYCOGEN. Argentina. Págs. 57-62.

- Segovia, J. 2006. Evaluación agronómica de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L) con cinco dosis de doble sulfato de potasio y magnesio, bajo el sistema de siembra directa en la zona de San Carlos Quevedo. Escuela Politécnica del Ejército. Tesis de grado.
- Segura, M. y Andrade. M. 2010. Efecto de las condiciones agrometeorológicas sobre un cultivar criollo y dos híbridos de maíz en cuatro fechas de siembra. Escuela Politécnica del Ejército. Tesis de grado.
- SICA, INIAP, CORPEL. 2009. El cultivo del maíz duro (*Zea mays*) (en línea). Consultado 22 dic. 2009. Disponible en <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/.../maizduro.pdf>.
- Spelanzón, P.; González, C.; y García, S., 2000. Jornada de Intercambio Técnico del Maíz. Respuesta a la Fertilización Azufrada en Suelos medanosos de Bragado. AAPRESID (Asociación de Productores en Siembra Directa), Buenos Aires. Págs. 18-20
- Trucco, V.; Mistrorigo, D.; De Carli, R.; Aranguren, F.; Beret, P.; Lisasso, A., 2000. Maíz, Jornada de Intercambio Técnico del Maíz. Fertilización de Maíz en Siembra Directa en entre Ríos. AAPRESID (Asociación de Productores en Siembra Directa). UNER-INTA, Argentina. Págs. 9-20.

Trucco, V.; Ferrari, M.; Carta, H.; Ventimiglia, L.; Ostojic, J., 1998. Maíz. Jornada de Intercambio Técnico del Maíz. Respuesta del Maíz en Siembra Directa a Distintas Fuentes y Dosis de Fertilizante Nitrogenado. EEA-INTA Págs. 41-47.

Wikipedia, 2009. Siembra Directa. Consultado 22 ene. 2010. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Siembra_directa

Wild, A. 1992. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas Según Russell. 11 ed. Mundi-prensa. Madrid, España. 1045 p.

VIII. RESUMEN

La presente investigación se realizó durante el periodo 2010 – 2011 en la zona sur de la provincia Santo Domingo de los Tsachilas (Hacienda San Antonio), con el objetivo de evaluar el efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de N. Se utilizó un esquema bifactorial $A \times B + 1$ ($2 \times 5 + 1$) dispuestos en bloques completos al azar. Las variables a medir fueron: Materia Orgánica, N, P, K, S y B, meso y macro fauna edáfica, humedad de suelo, altura de planta, diámetro de tallo, altura de inserción de la primera mazorca, días a la floración, días a la madurez fisiológica, y el rendimiento del cultivo.

Los resultados mostraron que la acumulación de MO en la superficie del suelo (rastreo) por efecto de la siembra directa se incrementó y permitió una mayor conservación de la humedad, adicionalmente contribuyó al aumento de la meso y macro fauna del suelo, tanto en cantidad como en diversidad de especies. En cuanto al contenido de nutrientes, no hubo mayor variación en relación a la concentración inicial del suelo, tanto en siembra directa como convencional. En cuanto a las variables de crecimiento, aquellas plantas fertilizadas con N mediante espeque mas aspersiones foliares de urea, fueron las de mejor crecimiento vegetativo, mostrando además mayor precocidad en las plantas sembradas en abril. El suelo tiene una disposición de horizontes $A_p/B_1/B_2/A_{tb}$ de color café oscuro en superficie a café claro en profundidad, clasificado como Hidric Thapto Hapludans, udico, isohipertérmico, clase agrológica IIs, textura franco limoso y densidad aparente $1,3 \text{ g/cm}^3$. Suelos lixiviados, contenido de cationes bajo y pH

ligeramente ácido. El exceso de precipitación de la zona incide negativamente en el rendimiento del cultivo de maíz específicamente cuando es sembrado en abril. Los mejores rendimientos netos del cultivo se obtuvieron sembrando el maíz en el mes de septiembre en hilera doble ($4540,85 \text{ kg ha}^{-1}$) y económicamente hablando la forma de aplicación más eficiente fue aplicando la urea con espeque ya que fue la que presentó la mejor TRM en los dos ciclos de siembra. No se puede afirmar categóricamente cambios en las condiciones físicas y químicas del suelo luego de un año de cultivo. La información relacionada con las características del perfil del suelo podría constituir el punto de partida para estudios sobre manejo y conservación del suelo.

IX. SUMMARY

This research was done during 2010-2011 at the south side of the Santo Domingo de los Tsachilas province (San Antonio Farm's). The objective of this research was to evaluate the effect of the no-tillage system on the soil and maize yield and development during two planting cycles, under two planting systems and two types of nitrogen application. A bifactorial arrangement was used $A \times B + 1$ ($2 \times 5 + 1$) in a randomized complete block design. OM, N, P, K, S, and B, meso and macro soil fauna, soil humidity, plant high, stem diameter, cob height, time to flowering, physiological maturity and crop yield.

The results showed that the Stover (previous crops and weeds) retained an important amount humidity, additionally increased the amount on soil meso and macro fauna in both diversity and number of individuals. The tillage system did not affect the soil nutrient content. The plants fertilized with the espeque method plus foliar urea applications performed better showing shatter vegetative yields were obtained when maize was sowed on September in a double row planting system ($4540,85 \text{ kg ha}^{-1}$).

The soil has a disposition horizons $A_p/B_1/B_2/A_{tb}$. Dark Brown on the surface and light brown as we go deeper, classified as Hidric Thapto Hapludans, udic, isohypertermic, and agrological class IIs. The soil texture was silky soil. The apparent density was 1.3 g/cm^3 . Lixivated soil, cation content low and slightly low pH. The high amount of rain diminishes maize yield when planted on April.

The best Margin Return Rate for N application was obtained using the espeque application method.

One year of cultivation is not enough to affect on the physical and chemical soil characteristic. The data related to the soil characteristics could be a good starting point to study soil management and conservation.