



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, RECURSOS
NATURALES Y DEL AMBIENTE
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE LABRANZA, CULTIVOS DE
COBERTURA Y ROTACIÓN CON MAÍZ DURO (*Zea mays L.*) EN LA
MICROCUEENCA DEL RÍO ALUMBRE, CANTÓN CHILLANES,
PROVINCIA BOLÍVAR - ECUADOR.**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO
AGRÓNOMO OTORGADO POR LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR, A
TRAVÉS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, RECURSOS
NATURALES Y DEL AMBIENTE, ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA.**

AUTOR:

JUAN CARLOS ARÉVALO TENELEMA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. FERNANDO VELOZ M.Sc.

INSTITUCIÓN

AUSPICIANTE: INIAP – SANREM CRSP

GUARANDA-ECUADOR

2013

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE LABRANZA, CULTIVOS DE COBERTURA Y ROTACIÓN CON MAÍZ DURO (*Zea mays L.*) EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ALUMBRE, CANTÓN CHILLANES, PROVINCIA BOLÍVAR - ECUADOR.

REVISADO POR:

DR. FERNANDO VELOZ. *M.Sc.*
DIRECTOR DE TESIS

ING. CARLOS MONAR BENAVIDES. *M.Sc.*
BIOMETRISTA

APROBADO POR LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN DE TESIS:

ING. AGR. NELSON MONAR GAVILANES. *M.Sc.*
AREA TÉCNICA

ING. ADOLFO BALLESTEROS. *M.Sc.*
ÁREA REDACCIÓN TÉCNICA

DEDICATORIA

Con un cariño especial dedico este trabajo a mis padres; Juan y María por ser la fuente de mi inspiración y motivación para superarme cada día más y por el apoyo incondicional recibido durante el transcurso de mi vida estudiantil y el desarrollo de la presente investigación.

A mis herman@s; por estar junto a mí, en mis aciertos y desaciertos.

Juan Carlos

AGRADECIMIENTO

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el período de estudio.

A mis padres y herman@s que con sus sabios consejos y el buen ejemplo me han servido de inspiración para cumplir con las metas propuestas.

A mi querida Escuela de Ingeniería Agronómica, de donde me llevo los más gratos recuerdos que jamás olvidaré.

Con una expresión de gratitud y admiración al Dr. Fernando Veloz Director de Tesis al Ing. Carlos Monar Benavides Biometrista, por su constante apoyo durante el desarrollo de esta investigación. Al Ing. Nelson Monar e Ing. Adolfo Ballesteros, Miembros del Tribunal de Tesis quienes con su experiencia colaboraron de manera incondicional.

Al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Proyecto “Manejo de Recursos Naturales Basado en Cuencas Hidrográficas en Agricultura de Pequeña Escala: el caso de la subcuenca del río Chimbo” Del Programa Colaborativo de Apoyo a la Investigación Sobre Agricultura Sostenible y Manejo de Recursos Naturales SANREM-CRSP-INIAP, financiado por la Agencia Internacional de Desarrollo de Estados Unidos (USAID).

Al Dr. Víctor Barrera Coordinador Nacional del Proyecto SANREM-CRSP-INIAP, por brindarme confianza y dotarme de conocimientos técnicos; Al Ing. Luís Escudero Coordinador Provincial del Proyecto SANREM-CRSP-INIAP por sus valiosos consejos y ayuda para la realización de la presente investigación. Finalmente en agradecimiento especial a los productores/as que participaron activamente en la realización de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PAG
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Origen del maíz.....	4
2.1.1. Clasificación sistemática.....	4
2.1.2. Descripción botánica.....	5
2.1.2.1. Raíz	5
2.1.2.2. Tallo	5
2.1.2.3. Hojas	5
2.1.2.4. Inflorescencia	6
2.1.2.5. Mazorca.....	6
2.1.2.6. Composición morfológica del grano.....	6
2.1.3. Ciclo del vegetativo	7
2.1.3.1. Nascencia	7
2.1.3.2. Crecimiento.....	7
2.1.3.3. Floración	7
2.1.3.4. Fructificación	7
2.1.3.5. Maduración de cultivo y secado.....	7
2.1.3.6. Semilla	8
2.1.4. Plagas y enfermedades	8
2.1.4.1. Plagas	8
• Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>).....	8
• Gusano de la mazorca (<i>Heliothis zea</i>).....	8
• Control cultural.....	9

• Control biológico.....	9
• Control mecánico.....	10
• Control químico.....	10
2.1.4.2. Enfermedades.....	10
• Royas del maíz (<i>Puccinia sorghi</i>).....	10
• Tizón foliar (<i>Helminthosporium maidis</i>).....	11
2.1.5. Requerimientos edafoclimaticas	11
2.1.5.1. Suelo	11
2.1.5.2. Clima.....	11
2.1.5.3. Pluviometría.....	12
2.1.5.4. Tipos del suelo	12
2.1.5.5. Pendiente.....	12
2.1.6. Manejo agronómico del cultivo	13
2.1.6.1. Selección	13
2.1.6.2. Preparación del suelo	14
2.1.6.3. Labranza convencional	14
2.1.6.4. Labranza reducida.....	15
2.1.6.5. Siembra	15
2.1.6.6. Época de siembra	16
2.1.6.7. Sistema y densidades de siembra.....	16
• Sistema.....	16
• Densidades.....	16
• Fertilización química.....	17
2.1.6.8. Labores culturales	17
• Control de malezas.....	17
• Control cultural.....	18
• Control mecánico.....	18
• Control químico.....	18

2.1.6.9. Cosecha	18
2.1.6.10. Almacenamiento	19
2.2. AVENA FORRAJERA.....	19
2.2.1. Origen.....	19
2.2.2. Clasificación sistemática.....	19
2.2.3. Descripción botánica.....	20
2.2.3.1. Raíz	20
2.2.3.2. Tallos.....	20
2.2.3.3. Hojas	20
2.2.3.4. Flores.....	20
2.2.4. Requerimientos edafoclimaticas	21
2.2.5. Manejo agronómico del cultivo	21
2.2.5.1. Preparación del suelo	21
2.2.5.2. Siembra	21
2.2.6. Plagas y enfermedades	22
2.3. VICIA COMUN.....	22
2.3.1. Origen	22
2.3.2. Clasificación sistemática.....	22
2.3.3. Condiciones ecológicas.....	22
2.3.4. Usos.....	23
2.3.5. Rendimiento de forraje.....	23
2.3.6. Plagas y enfermedades	23
2.4. CONSERVACIÓN DEL SUELO.....	23
2.4.1. Buenas prácticas de manejo del suelo.....	24
2.4.2. Agricultura de conservación	24
2.4.3. Clase de sistema.....	25

2.4.3.1. Sistema de cultivo	25
2.4.3.2. Sistema de producción	26
2.4.3.3. Sistema de producción agropecuaria.....	26
2.4.3.4. Clasificación de los sistemas de producción agropecuaria	26
2.4.4. Factores sociales y económicos que influyen en la erosión.....	27
2.4.4.1. Análisis del índice de capitales	27
2.4.4.2. Capital Cultural	28
2.4.4.3. Capital Financiero	28
2.4.4.4. Capital Físico	29
2.4.4.5. Capital Humano	29
2.4.4.6. Capital Natural	30
2.4.4.7. Capital Político.....	30
2.4.4.8. Capital Social	31
2.4.5. Practica de conservación del suelo.....	31
2.4.5.1. Rotación de cultivo	31
2.4.5.2. Tipos de labranza	32
• Labranza convencional.....	32
• Labranza mínima.....	32
• Labranza cero.....	32
2.4.6. Degradación del suelo.....	33
2.4.6.1. Degradación física	33
2.4.6.2. Degradación química	34
2.4.6.3. Degradación biológica	34
2.4.6.4. Principales factores de la degradación del suelo.....	34
• Salinización del suelo.....	34
• La acidificación.....	35
• Compactación.....	35

2.4.7. La erosión.....	35
2.4.7.1. Tipos de erosión	36
• Erosión hídrica.....	36
• Erosión eólica.....	36
• Erosión biológica.....	36
• El hombre como agente erosivo.....	37
2.4.7.2. Erosión en el ecuador.....	37
2.4.7.3. Factores sociales y económicos que influyen en la erosión.....	38
• El exceso de la población.....	38
• Tamaño de la finca.....	38
• El nivel de conocimiento.....	38
2.5. PROPIEDADES DEL SUELO.....	39
2.5.1. Clasificación taxonómica del suelo	39
2.5.1.1. Orden Andisoles.....	39
2.5.1.2. Suborden Udands	40
2.5.2. Características físicas del suelo.....	40
2.5.2.1. Textura	40
2.5.2.2. Estructura del suelo y agregados.....	41
2.5.2.3. Densidad aparente del suelo.....	41
2.5.2.4. Humedad gravimétrica.....	42
2.5.2.5. Humedad volumétrica.....	42
2.5.2.6. Compactación del suelo	42
2.5.2.7. Porosidad del suelo	43
2.6. LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.....	43
2.6.1. El pH del suelo.....	43
2.6.2. Salinidad del suelo	44
2.6.3. Acidez del suelo	44

2.6.4. Capacidad de Intercambio Catiónico	44
2.6.5. Contenido de Nutrientes.....	45
2.6.6. Materia Orgánica.....	45
2.6.7. Conductibilidad Eléctrica.....	45
2.6.8. Macro y micro nutrientes del suelo.....	45
• Macronutrientes.....	45
• Nitrógeno (N).....	46
• Fósforo (P).....	46
• Potasio (K).....	47
• Calcio (Ca).....	47
• Magnesio (Mg).....	47
• Micronutrientes.....	48
• Zinc (Zn).....	48
• Azufre (S).....	49
• Silicio (Si).....	49
• Hierro (Fe).....	49
• Manganeseo (Mn).....	49
• Cobre (Cu).....	50
• Boro (B).....	50
2.6.9. Solución del suelo	50
2.6.10. Relación carbono nitrógeno	51
2.6.11. Índice de nitrógeno	51
• Incorporación del nitrógeno en las plantas.....	52
• Nitrificación.....	53
• Inmovilización.....	53
• Fuentes de nitrógeno.....	54
• Fuentes químicas.....	54
• Fuentes naturales.....	55
• Fuentes orgánicas.....	55

2.7. LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO.....	55
2.7.1. Contenido de materia orgánica del suelo	56
2.7.2. Fauna biológica del suelo.....	56
2.7.3. Características biológicas del suelo	57
• Macroorganismos.....	57
• Microorganismos.....	58
2.8. METODOLOGÍAS APLICADAS PARA ANÁLISIS DEL SUELO.....	59
2.8.1. Tipos de análisis del suelo	59
• Análisis Elemental.....	59
• Análisis Completo.....	59
• Análisis de Salinidad.....	59
• Análisis Especiales.....	59
2.8.2. Determinaciones Físicas y Químicas.	60
• Determinación física.....	60
• Determinación de la textura: Método Densimétrico (Bouyoucus).....	60
• Determinaciones químicas.....	61
• Determinación del pH: Método potenciométrico.....	61
• Determinación de la Acidez Intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$). Método Volumétrico.....	62
• Determinación de Conductividad Eléctrica. Método Conductimétrico...62	
• Determinación de la Materia Orgánica del Suelo. Método Volumétrico (Walkley y Black).....	63
• Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico Método Físico y Químico.....	64
• Determinación del Nitrógeno Amoniacal. Método Fotocolorimétrico....64	
• Determinación del Nitrógeno Total. Método de Destilación.....	65
• Determinación de Fósforo. Método Fotocolorimétrico.....	65
• Determinación del K, Ca y Mg. Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica.....	66

- Determinar la cantidad de Cu, Fe, Mn y Zn, extraída por la solución Olsen (pH a 8.5).....66
- 2.9. VALOR ACTUAL NETO.....67

III. MATERIALES Y MÉTODOS 69

- 3.1. Materiales y equipos.....69
 - 3.1.1. Localización del ensayo 69
 - 3.1.2. Características agroclimáticas 69
 - 3.1.3. Zona de vida..... 69
 - 3.1.4. Características edáficas 69
 - 3.1.5. Material experimental 70
 - 3.1.6. Materiales de campo 70
 - 3.1.7. Materiales y equipos de oficina 70
 - 3.1.8. Insumos agrícolas..... 70
- 3.2. Métodos..... 71
 - 3.2.1. Tratamientos en estudio 71
 - 3.2.2. Características del área experimental..... 71
 - 3.2.3. Diseño experimental 72
 - 3.2.4. Análisis funcional 72
- 3.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y DATOS TOMADOS.....73
 - 3.3.1. Análisis física del suelo (AFS). 73
 - Humedad gravimétrica (Hg).....73
 - Densidad aparente (Da).....73
 - Compactación del suelo (Cs).....73
 - Precipitación (P).....74
 - 3.3.2. Análisis químico del suelo (AQS). 74
 - 3.3.2.1. Determinación del Nitrógeno Amoniacal. (DNA)..... 74

3.3.2.2. Determinación del Nitrógeno Total. (DNT).	74
3.3.2.3. Determinación de Fósforo. (DF).	75
3.3.3. Análisis biológicos de suelo (ABS).	75
3.3.4. Análisis químico de la planta (AQP).	75
3.3.4.1. Total de Carbono y Nitrógeno (TCN).	75
3.3.5. VARIABLES AGRONÓMICAS	76
3.3.5.1. Porcentaje de emergencia en el campo (PEC).	76
3.3.5.2. Número de plantas por parcela (NPP).	76
3.3.5.3. Número de plantas acamadas por parcela (NPAP).	76
3.3.5.4. Peso de mazorca por parcela (PMP).	76
3.3.5.5. Rendimiento en Kg/ha. (RH).	76
3.3.5.6. Clasificación de maíz (CM).	77
3.3.5.7. Profundidad radicular (PR).	77
3.3.6. Evaluación de avena-vicia	77
3.3.6.1. Rendimiento de materia verde en forraje	77
3.3.6.2. Profundidad radicular	77
3.3.7. Manejo del Experimento	78
3.3.7.1. Análisis del Suelo	78
3.3.7.2. Preparación del Terreno	78
3.3.7.3. Surcado y Hoyado	78
3.3.7.4. Siembra	78
3.3.7.5. Labores Culturales	78
3.3.7.6. Fertilización	78
3.3.7.7. Control de Malezas	79
3.3.7.8. Control de Plagas	79
3.3.7.9. Cosecha	79

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	80
4.1. Variables agronómicas.....	80
4.1.1. Variables agronómicas de pasto natural y avena-vicia.....	80
4.1.1.1. Rendimiento de biomasa de pasto natural y avena-vicia.....	80
4.1.1.2. Rendimiento de materia seca de pasto natural y avena-vicia.....	82
4.1.1.3. Análisis foliar del tejido vegetal de pasto natural y avena-vicia.....	82
4.1.2. Variables agronómicas de maíz duro INIAP-176.....	84
4.1.2.1. Porcentaje de emergencia (PE).	84
4.1.2.2. Profundidad radicular de maíz duro INIAP-176 (PRM).....	85
4.1.2.3. Plantas acamadas (PA).....	86
4.1.2.4. Materia seca de la planta de maíz duro INIAP-176 (MSPM).....	86
4.1.2.5. Rendimiento de la tusa seca de maíz duro INIAP-176 (TSM).	87
4.1.2.6. Rendimiento de maíz duro en Tm/ha.....	88
4.2. VOLUMEN DE AGUA (Va).....	89
4.3. VARIABLES FÍSICAS DEL SUELO.....	90
4.3.1. Densidad aparente (Da).....	91
4.3.2. Humedad gravimétrica (Hg).	92
4.3.3. Compactación del suelo (C).....	93
4.4. VARIABLES QUÍMICAS DEL SUELO.....	96
4.4.1. Concentración de Nitrógeno Total (NT).....	96
4.4.2. Concentración de Carbono Orgánico Total (COT).....	98
4.4.3. Concentración de Nitrógeno Nítrico (N-NO ₃ ⁻).	99
4.4.4. Concentración de Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₄ ⁺).	99
4.4.5. Concentración de Nitrógeno Potencialmente Mineralizable (NPM).	100
4.4.6. Contenido de Humedad del Suelo (Hs).	101
4.5. INDICADORES BIOLÓGICOS DEL SUELO.....	102

4.5.1. Macroorganismos.....	102
4.6. VARIABLES QUÍMICAS DE LA PLANTA DE MAÍZ.....	104
4.6.1. Extracción de nutrientes en Kg/ha en diferentes partes de la planta de maíz duro INIAP-176.	105
4.6.2. Extracción de nutrientes totales por la planta de maíz en Kg/ha	106
4.7. ÍNDICE DE NITRÓGENO.....	108
4.7.1. Reporte del Índice de Nitrógeno. Versión 4.4.2 Ecuador.....	108
4.8. ANÁLISIS ECONÓMICO DE PRESUPUESTO PARCIAL (AEPP)..	119
4.8.1. Análisis marginal de retorno	120
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	1201
5.1. CONCLUSIONES.....	121
5.2. RECOMENDACIONES.....	123
VI. RESUMEN Y SUMMARY	125
6.1. RESUMEN.....	125
6.2. SUMMARY.....	127
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	128

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PAG
Cuadro. 1. Tipos de pendientes, clase y rangos en porcentaje.....	12
Cuadro.2. Suelo perdido según el cultivo y de acuerdo al pendiente.....	13
Cuadro.3. Área en el mundo bajo labranza cero (2007/2008).....	33
Cuadro.4. Métodos y Extractantes utilizados en la determinación física y química de los elementos extraídos del análisis químico suelos.....	67
Cuadro.5. Ubicación política de los sitios experimentales.....	69
Cuadro.6. Características agroclimáticas de las comunidades.....	69
Cuadro.7. Taxonomía de suelos en las comunidades en estudio.....	70
Cuadro. 8. Tratamientos en estudio para la evaluación.....	71
Cuadro.9. Modelo matemático del ADEVA: DBCA.....	72
Cuadro.10. Resultados de ADEVA de las variables agronómicas y químicas del tejido vegetal evaluadas en las dos coberturas, pasto natural y Avena-vicia. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	80
Cuadro.11. Resultados de ADEVA de las variables agronómicas del cultivo de maíz duro INIAP-176. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	84
Cuadro.12. Análisis de varianza para las variables Físicas como Compactación, Densidad aparente y Humedad volumétrica del suelo evaluadas al inicio de la siembra y al final de la cosecha del cultivo de maíz duro INIAP-176. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.	90
Cuadro.13. Análisis de varianza para las variables Químicas del suelo, evaluadas en tres periodos durante el ciclo del cultivo de maíz duro INIAP-176. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	96
Cuadro.14. Número de macroorganismos existentes en el suelo, al final del cultivo de maíz duro INIAP-176. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	103

Cuadro.15. Análisis de varianza (ADEVA) resumido para las variables de extracción de nutrientes de la planta, grano y de la tusa de maíz duro INIAP-176 Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	104
Cuadro.16. Análisis Económico de Presupuesto Parcial para los tratamientos de prácticas de conservación, sistemas de labranza y rotación. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	119

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CONTENIDO	PAG
1. Rendimiento de biomasa de pasto natural y avena-vicia en Tm/ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	81
2. Rendimiento de la materias seca de pasto natural y avena-vicia en Tm/ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	82
3. Cantidad de Kg/N/ha en el tejido vegetal de pasto natural y avena-vicia. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	83
4. Cantidad de Kg/C/ha en el tejido vegetal de pasto natural y avena-vicia. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	84
5. Profundidad radicular de maíz duro INIAP-176 en cm. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	85
6. Número de plantas acamadas de maíz duro INIAP-176 por ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	86
7. Materia seca de la planta de maíz duro INIAP-176 en Tm/ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	87
8. Materia seca de la tusa de maíz duro INIAP-176 en Tm/ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	88
9. Rendimiento del maíz duro INIAP-176 en Tm/ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	89
10. Volumen de agua registrada mensualmente en (mm) durante ciclo del cultivo de maíz duro INIAP-176. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.....	90
11. Resultado de la Densidad aparente en gr/cm ³ por tratamientos en estudio. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	92
12. Resultado de la Humedad gravimétrica en % por tratamientos en estudio. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	93
13. Resultado de la Compactación del suelo en Kg fuerza/cm ² por tratamientos. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	95

14. Resultados de nitrógeno total por tratamientos. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador.2012.....	97
15. Resultados de carbono orgánico por tratamientos. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	98
16. Resultado de nitrógeno nítrico por tratamientos en estudio. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	99
17. Resultado de nitrógeno amoniacal por tratamientos. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	100
18. Resultados de nitrógeno potencialmente mineralizable por tratamientos. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	101
19. Resultados de contenido de humedad en %. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.....	102

ÍNDICE DE PDF

CONTENIDO	PAG
PDF 1: Respuesta de los tratamientos al Índice de Nitrógeno para medir la sustentabilidad de suelo en el cultivo de maíz duro INIAP-176. Chillanes. 2012.....	109
PDF 2: Respuesta de los tratamientos al Índice de Nitrógeno para medir la sustentabilidad de suelo en el cultivo de maíz duro INIAP-176. Chillanes. 2012.....	111
PDF 3: Respuesta de los tratamientos al Índice de Nitrógeno para medir la sustentabilidad de suelo en el cultivo de maíz duro INIAP-176. Chillanes. 2012.....	113
PDF 4: Respuesta de los tratamientos al Índice de Nitrógeno para medir la sustentabilidad de suelo en el cultivo de maíz duro INIAP-176. Chillanes. 2012.....	115

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N_o

- 1 Mapa de la microcuenca del río Alumbre**
- 2 Base de datos de la investigación**
- 3 Análisis químico del suelo de las investigaciones**
- 4 Análisis químico de la planta de maíz duro INIAP-176**
- 5 Fotos que respaldan la investigación**
- 6 Glosario de términos técnicos**

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen y debido a sus grandes bondades y multitud de usos se ha convertido en el cultivo más importante entre los cereales a nivel mundial por su producción (795´935.000 Tm. en la temporada 2009-2010, superando al trigo y al arroz), de las cuales el 90% corresponden a maíz amarillo y el 10% restante a maíz blanco. Ocupa el segundo lugar en área de siembra, con alrededor de 140´000.000 de has se siembra en 135 países y se comercializan en el mercado internacional más de 90 millones de toneladas. <http://www.fenalce.org/nueva/index.php>

El maíz es de crecimiento rápido con un ciclo de ocho meses a la cosecha en choclo y diez meses a la cosecha en seco, esto dependerá mucho de las variedades, zona agroclimática donde se cultive, fertilización química, siendo el N importante para las plantas, utilizando la urea que tiene capacidad para mantener el crecimiento de los cultivos, la formación de proteínas, ácidos nucleídos, clorofila para la vida de los microorganismos del suelo y constituye más del 20% del peso seco de la planta. (<http://www.fertilizando.com/...../asp>).

En el Ecuador, anualmente se cultivan alrededor de 420.000 has de maíz duro, con una producción total de 1450.000 Tm. (Monar, C. 2006).

En la provincia Bolívar se cultivan anualmente 35.000 has de maíz suave harinoso tardío de tipo Guagales, de las cuales aproximadamente 25.000 has se dedican a la producción de maíz para choclo, y 10.000 has para la producción de grano seco. La producción de maíz se realiza principalmente en terrenos de topografía irregular, donde prevalece el minifundio y en un 86% el sistema de producción es el maíz asociado con frejol voluble de tipo Mixturiado. (Monar, C. 2009).

El cultivo de maíz, es de gran importancia dentro de la rotación de cultivos, por aportar altos volúmenes de rastrojo con una relación inicial alta de C/N que hace que se descomponga más lentamente brindando una cobertura más estable, lo que

ha demostrado reducciones de un 20-40%, en las aplicaciones de N aumentando las cosechas entre 2-12% y reduciendo las pérdidas entre un 10-50% en comparación con las prácticas convencionales del cultivo. (<http://www.cimmyt.org/rotación>).

El proyecto “Manejo integrado de los recursos naturales para agricultura de pequeña escala con base a cuencas hidrográficas: El caso de la subcuenca del río Chimbo” es un esfuerzo con enfoque holístico para facilitar los procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I), orientada al mejoramiento y sostenibilidad de los sistemas de producción que se encuentran localizados en las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre, mismas que son parte de la subcuenca del río Chimbo y de esta manera contribuir a un desarrollo sustentable en el ámbito social, cultural, físico, financiero-económico y ambiental. (INIAP. 2007).

La microcuenca del río Alumbre situada en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes con pendientes superiores al 50% al igual que los sistemas de producción prevalentes de la zona determinan el alto grado de vulnerabilidad, riesgo social y económico que se deriva como consecuencia del manejo inadecuado del capital natural y efectos del cambio climático. Para contribuir a la sustentabilidad del suelo, la agricultura de conservación en condiciones de ladera, la eficiencia de los nutrientes y en particular del nitrógeno, el proyecto ha implementado en las fincas de los productores prácticas de agricultura de conservación que son alternativas tecnológicas que se ajustan a las condiciones agro-socio-económicas de los pequeños productores/as de la microcuenca del río Alumbre. A pesar de estos avances, no se ha medido el efecto de éstas sobre la productividad de los sistemas de producción en relación a las características físicas, químicas y biológicas del suelo a mediano y largo plazo, siendo necesario cuantificar no solamente en la parte agronómica de los sistemas, sino en su totalidad las diferentes prácticas que permiten conservar y mantener el suelo en su sitio, midiendo y cuantificando los niveles de erosión, evaluando el efecto de labranzas y cultivos de cobertura con remoción y sin remoción más la

rotación de cultivos: pasto natural avena-vicia, maíz duro, pasto natural avena-vicia-frejol arbustivo.

Para este trabajo de investigación, se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar el impacto de los sistemas de labranza, cultivos de cobertura y rotación con maíz duro en el sistema de producción maíz-avena-vicia en la microcuenca del río Alumbre.
- Evaluar a mediano plazo el efecto de los sistemas de labranza, cultivos de cobertura y rotación con maíz duro sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Determinar el efecto de los sistemas de labranza, cultivos de cobertura y rotación con avena-vicia sobre el rendimiento de maíz duro.
- Realizar un análisis económico de la implementación de los sistemas de labranza, cultivos de cobertura y rotación con maíz duro.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Origen del maíz

El maíz constituye una aportación de las culturas precolombinas al mundo. En la actualidad se acepta que es originario de América, concretamente de la zona situada entre la mitad del sur de México y el sur de Guatemala. A partir de estas áreas, el cultivo de maíz fue extendiéndose, primero a América del Norte y luego al continente y posteriormente al resto del mundo. (Verissimo, L. 1999).

Desde el punto de vista académico, científico, social y económico el maíz es uno de los cultivos más útiles para el hombre; en relación a lo académico, estas plantas constituyen una de las pocas especies utilizadas para múltiples ejemplos y medios de ayuda en cursos de biología, química y agronomía; desde el punto de vista científico, constituye un recurso biológico que permite explicar teorías, principios y leyes que contribuye a los avances de las ciencias biológicas y sus aplicaciones en la agronomía; está relacionada con el aspecto social, puesto que el maíz significa trabajo, moneda, pan y religión para un gran conglomerado humano mundial; en lo relacionado al aspecto económico, genera entrada y salida de divisas, que pueden trascender en la economía de un pueblo en la producción mundial de cereales ocupa los primeros lugares y desafía el futuro como recurso nutricional por excelencia. (Reyes, P. 1995.; Jugenheinier, R. 1997).

2.1.1. Clasificación sistemática

El maíz taxonómicamente pertenece a:

Reino:	Plantae
División:	Angiospermae
Orden:	Cyperales
Familia:	Poaceae
Género:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>mays L.</i>

(Yáñez, C. 2007).

2.1.2. Descripción botánica

2.1.2.1. Raíz

Las cuatro o cinco raíces que se desarrollan inicialmente a partir de la semilla (raíz primaria) sólo son funcionales durante los primeros estadios de desarrollo. Estas raíces van degenerando y son situadas por otras secundarias o adventicias, que se producen a partir de ocho o diez primeros de la base de tallo, situado por debajo de nivel de suelo. Forman un sistema radicular denso, a modo de cabellera, que se extiende a una profundidad variable, aunque su mayor parte está en los quince primeros centímetros. A partir de los cuatro o cinco nudos por encima de la superficie, emite otro tipo de raíces adventicias más gruesas, los raigones, que sirven para mejorar el anclaje de la planta. (COLECCIÓN OCÉANO.1999).

2.1.2.2. Tallo

La planta, de maíz presenta un tallo principal, que alcanza la superficie del suelo al estado de quinta hoja; a partir de la sexta hoja se inicia un rápido crecimiento del tallo en altura, el que se manifiesta especialmente a través de la elongación de los entrenudos inferiores. Al estado de ocho hojas es posible apreciar a simple vista, en el extremo apical del tallo, los primeros indicios de la panoja. El tallo puede crecer hasta 1.5 - 3 m. e incluso más en algunas variedades. Los tallos son muy robustos, y dependiendo de la variedad y precocidad del cultivar pueden alcanzar entre nudos de número de variables aéreas. (Aldrich, S. 2000).

2.1.2.3. Hojas

Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervadas. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes. La vaina de la hoja forma un cilindro alrededor del entrenudo, pero con los extremos desunidos. Su color usual es verde, se puede encontrar hojas rayadas de blanco y verde o verde púrpura, por

deficiencia de nutrientes. El número de hojas por planta varía entre 8 a 25. (COLECCIÓN OCÉANO. 1999).

2.1.2.4. Inflorescencia

El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. En cuanto a las inflorescencias masculinas presenta una panícula (vulgarmente denominadas espigón o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la panícula se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio la inflorescencia femenina nace un menor contenido que en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral. (Aldrich, S. 2000).

2.1.2.5. Mazorca

Indica que, al contrario de la mayor parte de las gramíneas, en el maíz la espiga es compacta y está protegida por las hojas transformadas, que en la mayoría de los casos la cubren por completo. El eje de inflorescencia o corozo se llaman tusa en América Central y México. La zona de inserción de los granos está formada principalmente por las cúpulas. (INFOAGRO. 2008).

2.1.2.6. Composición morfológica del grano

El grano de maíz está formado por tres partes con caracteres histológicos, nutritivos y biológicos diferentes: la envoltura o pericarpio, formado por el epicarpio, el mesocarpio y el endocarpio. El tegumento externo y la capa hialina son dos capas sin estructura celular precisa, situadas entre el pericarpio y la capa de las células de aleurona; el endospermo, rodeado por la capa de aleurona o capa proteica que contiene el pigmento en los cultivares. (TERRANOVA. 1995).

2.1.3. Ciclo del vegetativo

2.1.3.1. Nascencia

Comprende el periodo que transcurre desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo, cuya duración aproximada es de 6 a 8 días. (INFOAGRO. 2008).

2.1.3.2. Crecimiento

Una vez nacido el maíz aparece una nueva hoja cada tres días si las condiciones son normales. A los 15-20 días siguientes a la nascencia, la planta debe tener formadas ya cinco a seis hojas. (INFOAGRO. 2008).

2.1.3.3. Floración

Se considera como floración el momento en que la panoja se encuentra emitiendo polen y se producen el alargamiento de los estilos. La emisión de polen dura de 5 a 8 días, pudiendo surgir problemas si las temperaturas son altas o se provoca en la planta una sequía por falta de riego o lluvias. (INFOAGRO. 2008).

2.1.3.4. Fructificación

Con la fecundación de los óvulos por el polen se inicia el fructificación. Seguidamente, los granos se llenan de una sustancia lechosa, rica en azúcares, los estilos de la mazorca, vulgarmente llamados seda, cambian de color, tomando un color castaño. (INFOAGRO. 2008).

2.1.3.5. Maduración de cultivo y secado

Después de la polinización, el grano alcanza su máximo de materia seca, pudiendo entonces considerarse que ha llegado a su madurez fisiológica. Entonces suele tener alrededor de 35% de humedad relativa. A medida que va perdiendo la

humedad se va aproximando el grano a su madurez comercial, influyendo en ello más las condiciones ambientales de temperatura, humedad ambiente, etc., que las características variantes. (INFOAGRO. 2008).

2.1.3.6. Semilla

La selección de una semilla de calidad se inicia en el campo con la selección de plantas que reúnan características como, buena sanidad, de mediana altura de la inserción de la mazorca, mazorcas bien desarrolladas posteriormente, bien formadas, hileras y granos uniformes en los que se debe eliminar los granos de la punta y de la base de la mazorca. Luego esta semilla debe ser desinfectada con Vitavax 40 %, la aplicación debe realizarse de acuerdo a las instrucciones que imparte el producto. (INIAP.1993).

2.1.4. Plagas y enfermedades

2.1.4.1. Plagas

- **Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).**

El cogollero es la plaga más común en los cultivos de maíz. Las larvas en sus primeros estadios raspan la superficie de las hojas, dando la apariencia de manchas blancas dispersas sobre la superficie de las mismas. Posteriormente las larvas se dirigen hacia el cogollo donde consume el tejido tierno de las hojas, siendo este el daño más importante. Además, puede actuar como gusano trozador cortando las plántulas a nivel del suelo o, como gusano ejercito causando defoliaciones severas en plantas desarrolladas. (Ortega, A. 1997).

- **Gusano de la mazorca (*Heliothis zea*).**

La mariposa efectúa la postura en forma individual sobre los pelos o estilos de la mazorca. Los huevos son esféricos con estrías longitudinales, de coloración

amarillo-pálido. Después de la eclosión las larvas se alimentan inicialmente de los estilos y posteriormente de los granos situados en la punta de la mazorca; a veces penetran un poco más dejando un túnel lleno de excrementos. Además, las perforaciones que realizan las larvas favorecen la entrada de microorganismos que ocasionan la pudrición de la mazorca y, en otros casos, permiten la infestación de la mazorca con insectos de granos almacenados, tales como gorgojos y polillas. Este daño es más frecuente en mazorcas que presentan las puntas abiertas o poco compactas. (Ortega, A. 1997).

- **Control cultural**

- Siembras en labranza cero ayuda a reducir las poblaciones de cogollero.
- Las altas precipitaciones y el riego por aspersión reducen las larvas de primer y segundo estadio.
- Evitar las siembras escalonadas.
- Destruir las malezas hospederas antes de la siembra.
- Cuidar y fertilizar bien el cultivo, ya que las plantas fuertes y vigorosas pueden tolerar más daño al follaje sin sufrir bajas significativas en el rendimiento. (Secretaria de Recursos Naturales 1992).

- **Control biológico**

En la literatura se registran hongos entomófagos, bacterias, virus, parasitoides de las larvas que incluyen nematodos, chinches asesinos, tijeretas, hormigas y otros depredadores larvales importantes. En cuanto al uso de parásitos para el control del cogollero se ha encontrado tasas altas de parasitismo natural. La avispa (*Chelonus sulares*), presenta un porcentaje de parasitismo de 75%. El parásito ovífago, (*Telenomus remus*) su establecimiento en algunas zonas ha resultado en parasitismo de 60%, en zonas ha sido menos eficiente debido al uso indiscriminado de plaguicidas, también se recomienda el uso de *Basilusthuringiensis* (Bt) en el control del cogollero. También se pueden usar las larvas de cogollero que se ven enfermas. Estas se recolectan, se machacan bien

con agua y se cuelean. Después, esta mezcla se aplica con la bomba de mochila sobre las plantas. (Mendoza, J. 1994).

- **Control mecánico**

El control mecánico de las larvas ha sido usado por algunos productores al aplicar aserrín, tierra o arena fina, agua azucarada (como atracción de hormigas) al cogollo. Otra práctica es apretar el cogollo de las plantas afectadas y destruir las larvas. (Mendoza, J. 1994).

- **Control químico**

Cuando el muestreo revela daños arriba de los niveles críticos, se recomienda el uso de insecticidas comerciales selectivos, en las dosis correctas, utilizando equipo protector de aplicación. Cuando las plantas están pequeñas se recomiendan usar los siguientes insecticidas: Lorsban, Cipermetrina. El manejo integrado de plagas, la selección del insecticida, dosis, tiempo y forma de aplicación, deben ser cuidadosamente coordinados a fin de evitar perturbaciones ecológicas derivadas del mal uso de los mismos. El umbral económico sirve para identificar cuando y donde la aplicación de insecticidas es verdaderamente justificada. (Mendoza, J. 1994).

2.1.4.2. Enfermedades

- **Royas del maíz (*Puccinia sorghi*).**

Esta enfermedad está ampliamente distribuida por todo el mundo. La roya común es más conspicua cuando las plantas se acercan a la floración. Puede ser reconocida por las pústulas pequeñas y pulverulentas, tanto en el haz como en el envés de las hojas. Las pústulas son de color café en los estadios iniciales de la infección; más tarde la epidermis se rompe y las lesiones se tornan de color negro

a medida que la planta madura. Este es simplemente otro estadio del mismo hongo. (León, C. 1994).

- **Tizón foliar (*Helminthosporium maidis*).**

Las lesiones jóvenes son pequeñas y romboides. A medida que maduran se alargan, pero el crecimiento se ve limitado por las nervaduras adyacentes, de manera que la forma final de la lesión es rectangular (2 a 3 cm de largo). Las lesiones pueden fusionarse, llegando a producir la quemadura completa de un área foliar considerable. El tizón por *maidis* (o tizón sureño del maíz) está generalizado en las zonas maiceras cálido-húmedas. Para causar infección, el hongo requiere temperaturas ligeramente más altas que *turcicum*; no obstante ambas especies se encuentran a menudo a una misma planta. (León, C. 1994).

2.1.5. Requerimientos edafoclimaticas

2.1.5.1. Suelo

El maíz se adapta muy bien a todos tipos de suelo pero suelo con pH entre 6 a 7 son a los que mejor adaptan. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación de drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular. (INFOAGRO. 2008).

2.1.5.2. Clima

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C. Necesita bastante incidencia de luz solar y en aquellos climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C. El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir de 30°C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua. Para el fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C. (Aldrich, S. 2000).

2.1.5.3. Pluviometría

Las aguas en forma de lluvia son muy necesarias en periodos de crecimiento en un contenido de 40 a 65 cm altura de la plántula. (Pitty, A. 2002).

2.1.5.4. Tipos del suelo

La textura del suelo en el área del estudio es franco limoso con buen drenaje, nivel freático profundo, pH ligeramente ácido, sin salinidad y contenido medio de materia orgánica, se encuentra dentro del piso bosque húmedo montano bajo (b.h.M.B.), y bosque húmedo premontano. (b.h.P.M.) (Holdrige, L. 1984).

2.1.5.5. Pendiente

Normalmente se podría esperar que aumente la erosión al aumentar la inclinación y la longitud de la pendiente, como resultado del incremento de la velocidad y volumen de la escorrentía superficial, ya que en un terreno en pendiente más partículas de suelo son salpicadas pendiente abajo que pendiente arriba, aumentando la proporción en función de la pendiente. (Morgan, R.1996).

Cuadro. 1. Tipos de pendientes, clase y rangos en porcentaje

Clase	Rango (%).	Tipos de pendientes
1	0-5	Pendientes planas
2	5-12	Pendientes ligeramente onduladas
3	12-25	Pendientes medianamente ondulada
4	25-50	Pendientes onduladas
5	50-70	Pendientes fuertes
6	>70	Pendientes extremadamente fuertes

Fuente: FAO. 2008

La erosión se da principalmente en las zonas con pendiente, mientras mayor sea el ángulo de inclinación, mayor será la erosión del suelo, el agua se va comiendo poco a poco las capas fértiles de tierra. Otra causa que hoy es más controlable, es el uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes, al igual que el abandono de las

tierras. Es muy severa la erosión a lo largo de las fronteras agrícolas, pero a tiempo se disminuyó su expansión, se pudo controlar los incendios que promovían el desbroche en los bosques tropicales y en los páramos. Los agricultores tomaron medidas en contra de la erosión del suelo, y capacitaron para controlar la erosión a los sectores agrícolas a los que no tenían el conocimiento necesario, y se empezaron a trabajar las tierras abandonadas para aumentar su fertilidad, en el Cuadro N.º 2 se puede notar la pérdida de suelo en función de la pendiente y sistema de producción. (Morgan, R. 1996).

Cuadro. 2. Suelo perdido según el cultivo y de acuerdo al pendiente

Cultivo	Pendiente %	Lámina perdida (mm).	Densidad aparente (Da).	Suelo perdido Tm/ha/año
Sin cobertura	10	14,5	1,11	160,95
Maíz	15	11,5	1,18	135,70
Sin cobertura	5	9,4	1,10	103,40
Fréjol V.	10	8,4	1,04	87,36
Maíz	7	7,0	0,99	69,30
Fréjol V.	2	6,7	1,07	71,69
Frutales	5	6,6	1,06	69,96
Frutales	4	1	0,89	8,90

Fuente: FAO. 2008

2.1.6. Manejo agronómico del cultivo

2.1.6.1. Selección

Los peores suelos para el maíz son los excesivamente pesados (arcillosos) y los muy sueltos (arenosos). Los primeros, por su facilidad para inundarse y los segundos por su propensión a secarse excesivamente. En regiones de clima frío y con fuertes precipitaciones, los suelos relativamente ligeros son preferibles por su facilidad para drenar y alta capacidad para conservar el calor. En lugares de escasas precipitaciones, los suelos de textura relativamente pesada (arcillosos) dotados de alta capacidad relativa para retener el agua, son los más convenientes. En general los suelos más idóneos para el cultivo de maíz son los de textura

franca, fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención de agua. (Pitty, A. 2002).

2.1.6.2. Preparación del suelo

Una adecuada preparación del suelo, consiste en realizar con un mes de anticipación para la mejor descomposición de residuos, y que ayuda la permeabilidad y permite una buena germinación de la semilla. La práctica de arar todos los años a igual profundidad produce compactación del suelo, justo por debajo de la profundidad a que se efectúa la arada; esto reduce en forma notable el crecimiento de las raíces y el movimiento del agua en el suelo. (Pitty, A. 2002).

2.1.6.3. Labranza convencional

Existen productores que practican varias modalidades de preparación de suelo de acuerdo a la topografía del suelo, oportunidad financiera y disponibilidad de maquinaria y equipo.

Algunas de estas tres modalidades son:

- Una arada, dos pases de rastra y siembra con maquinaria (alta tecnología).
- Una arada, dos pases de rastra con tractor y surcado con bueyes (tecnología intermedia).
- Una arada y dos cruzadas y surcado con bueyes (tecnología de costo reducido).

Las ventajas fundamentales de la labranza convencional son:

- Control de malezas.
- Control de algunas plagas.
- Garantizar una rápida y uniforme emergencia del cultivo.

Como desventajas podemos mencionar:

- Una mayor proporción de la superficie de la tierra está formada por surcos de riesgo/drenaje/paso y, por lo tanto, no se siembra. Por ello, la completa

cobertura del suelo se demora comparada con la siembra de toda la superficie.

- Hay un costo inicial para la preparación del suelo y ocasionalmente para su mantenimiento entre cultivos sucesivos; si bien no es necesaria maquinaria especializada muy costosa, el trabajo consume tiempo y esfuerzos.
- Algunas tienen menores rendimientos que cuando se cultivan con métodos convencionales. (Suquilanda, M. 1996).

2.1.6.4. Labranza reducida

Este sistema se recomienda en aquellas regiones en donde la precipitación es baja o con mala distribución y en aquellos lugares donde no es posible utilizar maquinaria agrícola, ya sea porque son suelos con mucha pendiente o no existe maquinaria. La forma más rentable consiste en hacer un surco y luego aplicar Glifosato (4 litros por hectárea) más Gesaprin 80 (1,5 Kg/ha) antes que el cultivo emerja. (Lafetti, M. 2002).

Las ventajas que presenta el sistema de labranza reducida:

- Rendimientos más altos.
- Costos de producción reducidos.
- Mejor retención del agua.
- Menor erosión.
- Buena aireación y desarrollo radicular, sin alterar las condiciones del terreno, permitiendo la formación de canales internos por acción de procesos biológicos y naturales contracción del suelo debido a cambios en su estado de humedad. (Suquilanda, M. 1996).

2.1.6.5. Siembra

La época de siembra, depende de la zona y la variedad que va a ser utilizada. En forma general las siembras se inician con el advenimiento de las lluvias, las mismas que comienzan en el mes de Octubre a Marzo. La siembra en unicultivo

se puede realizar en surcos separados a 1m se deposita tres semillas de maíz cada 0.50 m por cada sitio. Ralea cuando las plantas tengan 12 a 20 cm. Para asegurar una población uniforme, la profundidad de siembra debe ser suficiente para que la semilla encuentre adecuada humedad para germinar, pero no tanto como para que la planta no pueda salir, bajo condiciones húmedas se recomienda una profundidad desde 2.5 cm en suelos pesados hasta 5 cm, en suelos livianos, bajo condiciones secas con una profundidad de 5 cm, en suelos pesados hasta 9 cm, en suelos livianos, realizar la siembra más profundamente a la entrada de verano que a la entrada de invierno. (Monar, C. 2000).

2.1.6.6. Época de siembra

En la provincia de Bolívar la época de siembra depende de la zona agroecológica, la época de siembra se inicia en noviembre y puede extenderse hasta el mes de marzo. (Monar, C. 2000).

2.1.6.7. Sistema y densidades de siembra

- **Sistema**

En las regiones maiceras del país, principalmente los pequeños productores hacen la mayor parte de la siembra en forma manual, bajo la modalidad de labranza convencional. En cambio los medianos y grandes productores generalmente utilizan sembradoras mecánicas. Los productores de ladera, donde se usa la cero labranza o labranza mínima, realizan la siembra en hileras, en forma manual, utilizan el espeque. (Brizuela, L. 1999).

- **Densidades**

La densidad de población por unidad de área depende de varios factores. Entre los más importantes están los siguientes: fertilidad del suelo, humedad disponible, porcentaje de germinación y características agronómicas de la variedad. En zonas

donde los suelos son fértiles y la lluvia es abundante, deberá sembrarse una mayor cantidad de semilla que en los suelos medianamente pobres y con lluvias escasas. Las variedades mejoradas soportan mayor densidad de población en comparación con las variedades criollas. Al sembrar, con maquinaria es importante una buena calibración del equipo de siembra con la finalidad de obtener la población deseada. Además el grano debe quedar a una profundidad de 5 cm para que tenga la suficiente humedad para germinar. (Brizuela, L. 1999).

- **Fertilización química**

El cultivo de maíz es muy exigente para su crecimiento y desarrollo, requiere de nitrógeno (urea), fósforo (superfosfato simple o superfosfato triple), potasio (muriato de potasio), Azufre (sulphomag), magnesio, calcio y entre otros. Los suelos maiceros de la provincia Bolívar, debido a su deficiente uso y manejo, cultivos extensivos, monocultivo, son pobres en su contenido de nitrógeno, fósforo y azufre. De acuerdo a resultados en trabajos de investigación realizadas por el INIAP en la Provincia Bolívar. Para realizar una fertilización adecuada es necesario el análisis químico del suelo, una recomendación general es la aplicación de 80-40-20-20 Kg/ha de N-P-K-S. (Monar, C. 2000).

2.1.6.8. Labores culturales

- **Control de malezas**

Las malezas compiten con el maíz por espacio, luz, agua y nutrientes lo cual ocasiona pérdidas económicas ya que disminuye el rendimiento, merma la calidad del producto y dificulta las labores de cosecha. Las malezas además, albergan insectos y enfermedades que atacan al maíz y obligan al agricultor a gastar más dinero en controles fitosanitarios. Por esto el control de malezas es uno de los factores importantes para una mayor producción de maíz. Para lo cual son los siguientes métodos: culturales, mecánicos y químicos. (Gabela, F. 1990).

- **Control cultural**

El control cultural se realiza mediante un adecuado manejo del terreno; práctica de rotación de cultivos, método que interrumpe los ciclos vegetativos de las malezas; usar las semilla certificada libre semillas de malas hierbas. La labor de arada en los terrenos en descanso impide la proliferación de semillas, las destruye y mejora las condiciones del suelo al incorporar MO. (Gabela, F. 1990).

- **Control mecánico**

El control mecánico, consiste en extraer las malezas del suelo. La primera deshierba debe realizarse lo más pronto posible, entre 15 y 20 días de la siembra, antes de que las malezas inicien la competencia con el cultivo y sean difíciles de eliminar. La segunda deshierba coincide con el medio aporque cuando el cultivo tiene 20 a 30 cm de altura, luego de la segunda aplicación de nitrógeno. Si es necesario debe hacerse una tercera deshierba cuando el cultivo tenga de 70 a 80 cm de altura. (Cárdenas, J. 1990).

- **Control químico**

Consiste en utilizar herbicidas (matamalezas) como complemento a los métodos culturales y mecánicos de control. Para obtener los mayores beneficios de los herbicidas es importante seguir las recomendaciones, especialmente en lo relacionado a dosis y épocas de aplicación. Si existe una alta presencia de malezas se recomienda aplicar herbicidas selectivos a base de Atrazina en dosis de 1,6 a 2,0 Kg/ha de producto comercial, en 400 litros de agua. (Cárdenas, J. 1990).

2.1.6.9. Cosecha

La humedad óptima para cosecha es cuando el grano ha alcanzado entre 22 y 24% de humedad. Una de las causas de esas pérdidas se da cuando el productor no cosecha su maíz a tiempo, así exponiendo al daño de roedores y pájaros; las altas

precipitaciones inducen a pudriciones de mazorca. Esto trae como consecuencia perdida por mala calidad del grano y a la vez un aumento en la concentración de micotoxinas con daños que estas sustancias producen. (Aldrich, S. 2000).

2.1.6.10. Almacenamiento

Un mal almacenamiento provoca una pérdida de 10% de grano almacenado y consecuentemente reducción de ingresos, estas razones son reales por lo que existe la necesidad de familiarizarse con el secado y almacenamiento del grano, especialmente cuando se trata de pequeños productores que producen para subsistencia, aunque no menos importante es para el mediano y grande productor que almacena su maíz para venderlo después de un tiempo. (Aldrich, S. 2000).

2.2. AVENA FORRAJERA

2.2.1. Origen

Las avenas cultivadas tienen su origen en Asia Central, la historia de su cultivo es más bien desconocida, aunque parece confirmarse que este cereal no llegó a tener importancia en épocas tan tempranas como el trigo o la cebada, ya que antes de ser cultivada la avena fue una mala hierba en estos cereales y se supone que eran semillas de malas hierbas, ya que no existen evidencias de que la avena fuese cultivada por los antiguos egipcios. Los restos más antiguos encontrados de cultivos de avena se localizan en Europa Central. En la producción mundial de cereales la avena ocupa el quinto lugar, siendo el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos. (INFOAGRO. 2008).

2.2.2. Clasificación sistemática

La avena taxonómicamente pertenece a:

Familia: Poaceae

Género: *Avena*

Especie: *sativa*

(INFOAGRO. 2008).

2.2.3. Descripción botánica

La avena es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las gramíneas, es una planta autógena. La mayoría de las avenas cultivadas son haploides. Las características botánicas del grupo de avenas hexaploides son principalmente: la articulación de la primera y segunda flor de la espiguilla, el carácter desnudo o vestido del grano y la morfología de las aristas. (INFOAGRO. 2008).

2.2.3.1. Raíz

Posee un sistema radicular potente, con raíces más abundantes y profundas que las de los demás cereales. (INFOAGRO. 2008).

2.2.3.2. Tallos

Están formados por varios entrenudos que terminan en gruesos nudos. Los tallos son gruesos y rectos, pero con poca resistencia al vuelco; tiene, en cambio, un buen valor forrajero. (INFOAGRO. 2008).

2.2.3.3. Hojas

Las hojas son planas y alargadas. En la unión del limbo y el tallo tienen una lígula, pero no existen estipulas. El limbo de la hoja es estrecho y largo, de color verde más o menos oscuro; es áspero al tacto y en la base lleva numerosos pelos. Los nervios de la hoja son paralelos y bastante marcados. (INFOAGRO. 2008).

2.2.3.4. Flores

La inflorescencia es en panícula. Es un racimo de espiguillas de dos o tres flores, situadas sobre largos pedúnculos. La dehiscencia de las anteras se produce al

tiempo de abrirse las flores. Sin embargo, existe cierta proporción de flores que abren sus glumas y glumillas antes de la maduración de estambres y pistilos, como consecuencia la degeneraciones de las variedades (INFOAGRO. 2008).

2.2.4. Requerimientos edafoclimaticas

Es considerada una planta de estación fría, localizándose las mayores áreas de producción en los climas templados más fríos, aunque posee una resistencia al frío menor que la cebada y el trigo. La avena es muy exigente en agua por tener un coeficiente de transpiración elevado, superior incluso a la cebada, aunque le puede perjudicar un exceso de humedad. Las necesidades hídricas de la avena son las más elevadas de todos los cereales de invierno, por ello se adapta mejor a los climas frescos y húmedos. Prefiere los suelos profundos y arcillo-arenosos, ricos en cal pero sin exceso y que retengan humedad, pero sin que quede el agua estancada. La avena está más adaptada que los demás cereales a los suelos ácidos, cuyo pH esté comprendido entre 5 y 7, por tanto suele sembrarse en tierras recién roturadas ricas en materias orgánicas. (INFOAGRO. 2008).

2.2.5. Manejo agronómico del cultivo

2.2.5.1. Preparación del suelo

Es frecuente que la avena sea un cultivo muy poco cuidado, se da una buena cruzada, graduando si se va a sembrar de forma mecanizada. Si le ha precedido una planta de escarda, únicamente será necesario un sólo pase. (INFOAGRO. 2008).

2.2.5.2. Siembra

En muchas zonas se suele sembrar (en mes de enero en las tierras de secano hasta el mes de marzo en las tierras de regadío), excepto en zonas con clima cálido. La cantidad de semilla empleada suele ser muy variable. (INFOAGRO. 2008).

2.2.6. Plagas y enfermedades

Durante el desarrollo del cultivo no se observan problemas de plagas ni de enfermedades. (VIRTUAL. 2008).

2.3. VICIA COMUN

2.3.1. Origen

La veza común es originaria del sudeste de Europa, norte de África y oeste de Asia, de las áreas semiáridas con rangos de precipitación de 200-400 mm. Actualmente se siembra para forraje en Europa, África y Asia y se ha introducido en regiones templadas de otros países de norte América. La superficie sembrada es variable entre años y se han reportado hasta 7.500 ha localizadas en la región central del país. (VIRTUAL. 2008).

2.3.2. Clasificación sistemática

La vicia taxonómicamente pertenece a:

Reino:	Plantae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Género:	<i>Vicia</i>
Especie:	<i>sativa</i>

(OSPINA, J. 2002).

2.3.3. Condiciones ecológicas

La vicia común se adapta a una amplia gama de suelos, desde arenosos hasta arcillosos, pero con buen drenaje, su mejor comportamiento es en suelos arcillosos de textura fina y suelos arcillo-limosos, no se desarrolla bien en suelos salinos ni sódicos; tolera pH bajo, pero su óptimo es 5.6. Es tolerante a frío, por lo que es

apta para siembra en la estación fría del año, aunque algunas variedades de primavera si son susceptibles a las heladas. (VIRTUAL, 2008).

2.3.4. Usos

Este cultivo se puede destinar para producción de forraje o para abono verde. Como forraje se puede utilizar en varias formas: pastoreado, henificado o ensilado. Además, se puede producir como monocultivo o en mezclas con cereales de grano pequeño como avena o cebada para mejorar el rendimiento y/o la calidad del heno producido. (Hannaway, D. B. and Ch. Larson, 2004; Hairy Vetch, 2004).

2.3.5. Rendimiento de forraje

Bajo condiciones de temporal se han reportado rendimientos de hasta 8.5 Tm/ha de materia seca. Cosechado en la etapa de floración, la mayor proporción de la biomasa corresponde a hojas, aproximadamente 60%, el resto son tallos. Esta distribución de la biomasa hace que esta especie sea un forraje excelente porque son las hojas el componente de mayor calidad. La calidad del forraje de la vicia común, cosechado en etapa de floración, es semejante a la alfalfa de grado superior, con valores de proteína cruda, fibra de 22, 36.4% respectivamente. (Hannaway, D. B. and Ch. Larson, 2004; Hairy Vetch, 2004).

2.3.6. Plagas y enfermedades

Durante el desarrollo del cultivo no se observan problemas de plagas ni de enfermedades. (VIRTUAL. 2008).

2.4. CONSERVACIÓN DEL SUELO

El suelo es un recurso natural sumamente valioso para un país. El proceso de formación del suelo es lento. Sobre la roca, se forma a un ritmo de 1 cm cada 100

a 400 años, y se requieren 3000 a 12000 años para constituir tierra productiva. (FAO. 1984).

2.4.1. Buenas prácticas de manejo del suelo

Es un conjunto de principios normas y recomendaciones técnicos aplicables a la producción y proteger el medio ambiente. Se pretende, con el manejo adecuado del suelo, mantener su fertilidad y estructura. Los suelos con elevada fertilidad proporcionan cultivos con altos rendimientos, buena cobertura vegetal, y como consecuencia, condiciones que permiten minimizar los efectos erosivos de la lluvia al caer, de la escorrentía y el viento. Estos suelos presentan normalmente una estructura granular estable que no se deteriora por el cultivo, y elevada capacidad de infiltración. Por estas razones, la fertilidad puede verse como un aspecto clave en la conservación de suelos. (Urbano, P. 1997).

2.4.2. Agricultura de conservación

La Agricultura de Conservación es un sistema que proporciona beneficio en un sentido más extendido ya que se basa en el manejo integrado de suelo, el agua y los recursos agrícolas. Su principal objetivo es la producción agrícola económica, ecológica y socialmente sostenible, y que al mismo tiempo regenera el suelo y revierte su degradación. (FAO, 2002b).

La FAO (2002b). Señala que la AC se basa en tres principios:

- Suelo permanentemente cubierto
- Movimiento mínimo del suelo
- Rotación de cultivos

Los beneficios para los agricultores:

- Rendimientos y beneficios económicos mayores y más estables, resistencia de los cultivos a las sequías y a los riesgos climáticos.
- Ahorro de tiempo para realizar otras actividades.

- Diversificación de cultivos y actividades, menores riesgos, mayores ingresos, mejoramiento de la dieta y mejor forma de vida para los agricultores.

Para las comunidades y el ambiente:

- Mejoramiento de la seguridad alimentaria y de la dieta de las personas y del ganado, y reducción de la emigración campesina.
- Recursos hídricos: mejoramiento de la calidad, cantidad y disponibilidad de agua durante todo el año.
- Tierra: incremento de la fertilidad y regeneración del suelo, no hay erosión, no hay necesidad de desmontar nuevas tierras.
- Biodiversidad: agrobiodiversidad a través de la rotación de cultivos, mejoramiento de la biodiversidad del suelo, menor presión sobre tierras marginales, bosques y reservas naturales.

La rotación de cultivos y el uso de abonos verdes son prácticas que acompañan con éxito a los sistemas de labranza de conservación del suelo. Al rotar cultivos se interrumpen los ciclos biológicos de plagas, enfermedades y malas hierbas (reduciendo el consumo de herbicidas y pesticidas). Los abonos verdes por su parte son base fundamental para una agricultura sostenible, generando rastrojo que a la vez actúa como cobertura muerta, incrementando así el aporte de MO. Es muy útil para suelos con pendientes y degradados. El rastrojo es inicialmente trabajado por la macro y mesofauna (insectos, lombrices, etc.) del suelo. Posteriormente, los microorganismos en especial, harán la descomposición y mineralización, formando el producto final más importante, el humus. La tasa de descomposición depende de su composición química (relación C/N). (Martinez et al, 2001).

2.4.3. Clase de sistema

2.4.3.1. Sistema de cultivo

“Sistema de Cultivo”, es la organización técnica de la explotación agrícola. El sistema de cultivo como “la elección que hace el hombre, de los procedimientos

mediante los cuales explota la naturaleza”. Distingue tres tipos en función del grado de artificialización para restablecer la fertilidad: el primero corresponde a un sistema de recolección (la naturaleza actúa sola) el segundo a un sistema de barbecho (uno o varios años de cultivo seguidos por un período sin cultivo) y el tercero aun sistema de cultivo continuo. (Tayupanta, J. 1990).

2.4.3.2. Sistema de producción

En forma general, se entiende por sistema a un arreglo de componentes físicos relacionados entre sí, de tal manera que forma y actúa como una unidad. Así, Los componentes físicos son los elementos básicos del sistema y las relaciones entre ellos determinan la estructura y función del sistema. Un sistema de producción agropecuaria, se define como el conglomerado de sistemas de fincas individuales, que en su conjunto presentan una base de recursos, patrones empresariales, sistemas de subsistencia y limitaciones familiares similares; y para los cuales serían apropiadas estrategias de desarrollo e intervenciones también similares. (Barrera, V. 2004).

2.4.3.3. Sistema de producción agropecuaria

La caracterización de los principales sistemas de producción agropecuaria provee un marco en el cual se pueden definir tanto estrategias de desarrollo agrícola como intervenciones apropiadas. La decisión de adoptar estos amplios sistemas de producción inevitablemente genera un grado considerable de heterogeneidad al interior de un sistema en particular. Por lo tanto, se han identificado y cartografiado únicamente los principales sistemas de producción agropecuaria a fin de estimar la magnitud de su población y base de recursos. (Ortega, J. 2004).

2.4.3.4. Clasificación de los sistemas de producción agropecuaria

La base de recursos naturales disponible y la altitud es un factor determinante incluyendo gradiente; área predial, tenencia de la tierra y organización. El patrón

predominante de actividades agrícolas y formas de subsistencia de los hogares agropecuarios, incluyendo cultivos, ganadería, forestaría, caza y recolección, procesamiento y actividades extra-prediales; y tomando en cuenta las principales tecnologías empleadas, que determinan la intensidad de la producción e integración de los cultivos, ganadería y otras actividades. (Bebbington, A. 1999).

Elementos de un sistema tiene cuyo reconocimiento, debe ser el paso inicial para la conceptualización como tal:

- **Componentes.-** Son los elementos básicos y están referidos al tipo y al número de componentes existentes en el sistema.
- **Interacción entre componentes.-** Es la relación o grado de dependencia que existe entre los componentes.
- **Entradas y salidas.-** Son los flujos que ingresan y egresan del sistema y se relaciona con la función del mismo.
- **Límites.-** Este es uno de los elementos más difíciles de identificar, se relaciona con el tipo de interacción entre componentes y el nivel de control sobre entradas y salidas. Es decir, cuando un flujo sale de un componente y entra en un conjunto de componentes.
- **Estructura y función.-** La estructura señala el número, tipo e interacción entre componentes. Es decir, la cantidad básica que interactúa. La función de un sistema es el proceso de recibir entradas y producir salidas. (Bebbington, A. 1999).

2.4.4. Factores sociales y económicos que influyen en la erosión

2.4.4.1. Análisis del índice de capitales

El enfoque de Capitales de la Comunidad, se fundamenta en tres corolarios fundamentales: el primero, que todas las comunidades sean rurales, aisladas o pobres disponen de recursos y que cuando esos recursos o activos se invierten para crear nuevos recursos, allí toman la categoría de capitales; el segundo, que para generar bienestar en las familias se requiere que exista un balance entre los

capitales disponibles; y el tercer corolario, cuando se consideran a todos los capitales con el mismo grado de importancia para la generación de bienestar. Además, (Flora *et al.* 2004a) mencionan que entre los capitales pueden generarse interacciones positivas y negativas que pueden contribuir o perjudicar el bienestar de las familias. A continuación un breve definición de cada uno de los capitales disponibles por las comunidades, que son el fundamento para el diseño de las variables y los indicadores en el contexto de los proyectos de I+D+I para el desarrollo.

2.4.4.2. Capital Cultural

Constituido por los valores, el reconocimiento y celebración del patrimonio cultural (Flora *et al.*, 2004a) de acuerdo a (Gutiérrez, Montes. 2005), el capital cultural comprende las diferentes expresiones de identidad reflejada en la vestimenta, libros, máquinas, arte, y los esfuerzos por mantener el lenguaje y costumbres ancestrales (de alimentación, producción, cuidado del ambiente, etc.). Este capital es el resultado de las interacciones de los seres humanos con su entorno explicando así las maneras “de conocer” y “de ser” y su manera especial de ver el mundo y definir qué tiene valor y sobre todo qué se puede cambiar (Flora *et al.*, 2004b). El capital cultural se puede interpretar como el filtro, a través del cual, la gente vive sus vidas, los rituales diarios o estacionales que se observan y la manera de cómo se mira el mundo alrededor. Es utilizado por las élites para estrechar los lazos de clase y se consolida estratégicamente desde la niñez para formar una visión de escala social. (DFID. 1998).

2.4.4.3. Capital Financiero

Hace referencia a los recursos financieros que las poblaciones utilizan para lograr sus objetivos en materia de medios de vida. El capital financiero consiste en el dinero que se utiliza para la inversión antes que para el consumo. La inversión significa que los recursos son utilizados para la compra o como un instrumento financiero para crear valor adicional. El (DFID. 1998) menciona que se trata de la

disponibilidad de dinero en metálico o equivalentes que permite a los pueblos adoptar diferentes estrategias en materia de medios de vida. El capital financiero es importante para las comunidades y los individuos porque puede ser transformado en capital físico como fábricas, escuelas, caminos, restauración de hábitats, centros comunitarios o similares, que contribuyen a construir otros capitales para las comunidades. (Flora *et al.* 2004a) mencionan que otras fuentes de capital financiero son la carga de impuestos, deudas pendientes al estado, donaciones filantrópicas, contribuciones, contratos, exenciones regulatorias, inversiones y préstamos, entre otras. (Lorenz, E. 1999).

2.4.4.4. Capital Físico

Diversos autores se refieren al capital físico, como la infraestructura básica que facilita las actividades productivas, reproductivas y sociales de la comunidad incluyendo entre otros caminos, servicios básicos. (Flora *et al.*, 2004a) Señala al capital físico como los bienes de producción necesarios para respaldar a los medios de vida. Las infraestructuras consisten en los cambios en el entorno físico que contribuyen a que las poblaciones cubran sus necesidades básicas y sean más productivas y generalmente son parte de los bienes públicos. Los bienes de producción incluyen las herramientas y equipos que utilizan las poblaciones para funcionar de forma más productiva y en su mayoría son parte de los bienes privados. Numerosas evaluaciones participativas de la pobreza han llegado a la conclusión de que la falta de ciertos tipos de infraestructuras. (DFID. 1998).

2.4.4.5. Capital Humano

El capital humano representa las aptitudes, conocimientos, capacidades laborales y buena salud, que en conjunto permiten a las poblaciones entablar distintas estrategias y alcanzar sus objetivos en materia de medios de vida. A nivel de los hogares rurales, el capital humano es un factor que determina la cantidad y calidad de la mano de obra disponible. Esto varía de acuerdo con el tamaño de la unidad familiar, con los niveles de formación, con el potencial de liderazgo, con el estatus

sanitario, etc. El capital humano aparece en el marco genérico como un activo que influye en los medios de vida, es decir, como un bloque de construcción o medio de obtener logros en materia de medios de vida, su acumulación puede representar también un fin por sí mismo. (Flora *et al.* 2004a) definen al capital humano como las características de cada individuo que resultan de las interacciones entre elementos biológicos genéticos y sociales relaciones; así mismo, para estos autores, el capital humano comprende la educación, las habilidades, la salud, la autoestima y el liderazgo. (DFID. 1998).

2.4.4.6. Capital Natural

El capital natural es el término utilizado para referirse a las partidas de todos los recursos naturales y dentro de ellos la biodiversidad, el capital natural es la base de la que se derivan los flujos de recursos y servicios ecosistémicos los ciclos de nutrientes, protección de la erosión, fuentes de agua, etc. Útiles en materia de medios de vida. Comprende una amplia variedad de recursos desde bienes públicos intangibles, como el aire su calidad y la biodiversidad, hasta activos divisibles utilizados directamente en la producción árboles, tierras, etc. Gran parte de los choques que afectan los medios de vida de los menos favorecidos son por sí mismos procesos naturales que destruyen el capital natural fuegos que destruyen bosques, inundaciones y terremotos que destruyen tierras aradas y su temporalidad se debe en gran medida a cambios producidos en el tiempo que afectan su valor y la productividad del capital natural. Por otra parte, (Flora *et al.* 2004a) se refieren a que el capital natural son todos los recursos naturales del entorno que son esenciales para el funcionamiento del ecosistema y para el bienestar de la gente, entre los que se tiene a la calidad del aire, tierra y del agua, suelos, biodiversidad, paisaje, etc. (DFID. 1998).

2.4.4.7. Capital Político

El capital político refleja la habilidad de lidiar con la coerción y la aplicación de leyes u ordenanzas gobernabilidad, la habilidad de participar, tener voz e influir

sobre las decisiones y acciones que en el proceso de modernización transformarán los demás capitales. (Aigner *et al.*, 2001). Además se afirma que el capital político está constituido por la presencia responsable y participativa de las organizaciones o instituciones relacionadas con el manejo de los recursos, una buena organización de las bases, conexiones entre las bases y otras organizaciones e instituciones a varios niveles, habilidad del gobierno para atraer recursos para la comunidad, etc. El capital político es la capacidad de un grupo de influenciar la distribución de recursos dentro de una unidad social, incluyendo los sistemas de ayuda, la agenda para que estos recursos estén disponibles y quién es elegible para recibirlos. El capital político incluye la organización, conexiones, voz y poder. (Flora *et al.*, 2004b). (DFID. 1998).

2.4.4.8. Capital Social

El capital social se refiere a las interacciones, conexiones y relaciones que unen a los individuos y las comunidades. El capital social comprende las relaciones de confianza mutua, normas de reciprocidad, estructura de redes, afiliación a grupos organizados, cooperación, visión y metas comunes, liderazgo, aceptación de visiones alternativas y una representación diversa. Desde el punto de vista del desarrollo local, existen algunos elementos del capital social que contribuyen a sostenerlo. La existencia de vínculos y solidaridad dentro de la comunidad, los liderazgos ecuanímenes y confiables, el desarrollo de vínculos horizontales con otras comunidades que permite un mutuo aprendizajes. (Martínez, A. 2006).

2.4.5. Practica de conservación del suelo

2.4.5.1. Rotación de cultivo

Una rotación es la sucesión de cultivos diferentes en ciclos continuos, sobre una área de terreno determinado. Esta práctica debe programarse tomando en cuenta las condiciones ecológicas y socioeconómicas de cada región. Rotación de cultivos es una técnica consistente en alternar plantas de diferentes familias y con

necesidades nutritivas diferentes en un mismo lugar durante distintos ciclos, evitando que el suelo se agote y que las enfermedades que afectan a un tipo de plantas se perpetúen en el tiempo. De esta manera, se puede mantener el suelo constantemente ocupado, lo cual determina un crecimiento menor de las malezas. <http://www.botanical-online.com/rotacióndecultivos.htm>

2.4.5.2. Tipos de labranza

Labranza convencional

La labranza convencional involucra la inversión del suelo, normalmente con el arado de vertedera o el arado de discos como labranza primaria, seguida por labranzas secundarias con la rastra de discos. El propósito principal de la labranza primaria es controlar las malezas por medio de su enterramiento, y el objetivo principal de la labranza secundaria es desmenuzar los agregados y crear una cama de siembra. La característica negativa de este sistema es que el suelo queda sin protección y queda desnudo y es susceptible a las pérdidas del suelo y agua debido a los procesos de erosión. (Duarte, M. y Cause, C. 2001).

Labranza mínima

Labranza mínima significa remover y aflojar la tierra sólo en la zona donde se va a depositar las semillas. La implementación de sistemas de labranza mínima (Lm) es una alternativa tecnológica que controla la erosión y contribuye a la agricultura sostenible donde las condiciones lo permitan. (Valverde et al, 2004).

Labranza cero

La labranza cero consiste en abrir un pequeño agujero en el suelo, espacio suficiente para enterrar el fertilizante y la semilla. Los implementos que se usa son el azadón, espeque y la pala. (Valverde et al, 2004).

Lo ha contribuido a una mayor macroporosidad e infiltración, debido a una mejor continuidad del sistema poroso a través del suelo, gracias a la presencia de mayor contenido de MO, en este sistema de labranza del suelo, aumentan considerablemente la infiltración y aireación de estos suelos y la adopción para una agricultura de conservación ha crecido en los últimos años y se ha expandido en casi todo el mundo como lo indica en el cuadro N° 3 (Plaster, 2000).

Esto significa que los mismos cultivos restituyen al suelo gran parte de los nutrientes extraídos (provenientes del suelo y los fertilizantes), especialmente P y K, además de proteger al suelo contra la erosión, como también contribuir a la economía de agua del perfil (Crovetto, 1992).

Cuadro.3. Área en el mundo bajo labranza cero (2007/2008).

Continente	Superficie, (millones de ha)	País	Superficie, (millones de ha)
América del Sur	49,6	Brasil	25,5
América del Norte	40,1	Argentina	19,7
Australia & Nueva Zelanda	12,2	Paraguay	2,4
Asia	2,5	Bolivia	0,7
Europa	1,2	Venezuela	0,3
Africa	0,4	Chile	0,2
Total	105,9	Colombia	0,1

Fuente: FAO, 2008

2.4.6. Degradación del suelo

La degradación es un proceso natural e inducido que disminuye el potencial productivo del suelo. Entre las causas de la degradación se destaca la erosión, que es el proceso de remoción, transporte y deposición del suelo. Otro factor determinante de la degradación es el desequilibrio nutricional, donde la extracción de nutrientes minerales en las cosechas salgan del suelo (Alvarado et al, 2011).

2.4.6.1. Degradación física

La degradación del suelo es un proceso inducido antrópico que afecta negativamente la biofísica del suelo para soportar vida en un ecosistema,

incluyendo aceptar, almacenar y reciclar agua, materia orgánica y nutrientes. Ocurre cuando el suelo pierde importantes propiedades como consecuencia de una inadecuada utilización. Las amenazas naturales son excluidas habitualmente como causas de la degradación del suelo; sin embargo las actividades humanas pueden afectar indirectamente a fenómenos, se incluyen la erosión hídrica y eólica, y el deterioro de la estructura, con fenómenos tales como sellado, y la formación de pisos de arado. (Ortíz, R. 2008).

2.4.6.2. Degradación química

Se incluye la pérdida de nutrientes o de fertilidad, acidificación y alcalinización, salinización y contaminación por uso indiscriminado de insumos agroquímicos.

2.4.6.3. Degradación biológica

Se considera la pérdida de materia orgánica y la alteración de la flora y fauna del suelo (microflora y lombrices, etc.). (Michelena, R. 2002).

2.4.6.4. Principales factores de la degradación del suelo

- **Salinización del suelo**

La concentración de los sales confiere al suelo unas propiedades muy particulares con efectos muy nocivos para los cultivos. Se puede deber a causas naturales o ser el resultado de acciones antrópicas. La mayor parte de las tierras dedicado a los cultivos bajo condiciones de regadío han sido y están siendo afectadas por el proceso de salinización inevitable de estas tierras. Consideran que la recuperación de los suelos que sufren el efecto de la salinización es un proceso extremadamente costoso y que muchas veces no pueden ser enfrentados por los productores con éxito. En este sentido recomienda que se deba tomar todas las medidas para evitar este tipo de degradación de los suelos. (Ortíz, R. 2008).

- **La acidificación**

Es el aumento de la concentración de iones H^+ en el suelo. Se produce por múltiples causas, tanto naturales (lavado de cationes por el agua de lluvia, descomposición microbiana de la materia orgánica del suelo) como inducidas por las prácticas agrícolas (abonos acidificantes) o la contaminación exterior (lluvia ácida) (Departamento de Ordenamiento del Territorio y Medio Ambiente. 2004).

Procesos que contribuyen a la acidificación del suelo:

- Procesos naturales, tales como disociación de ácidos orgánicos y carbónicos junto con la lixiviación de bases por efecto del agua lluvia.
- Uso indebido de fertilizantes nitrogenadas.
- Deposition atmosférica de contaminantes, principalmente procesos de la generación de energía, la industria y transporte.
- La acidez del suelo mide la concentración en hidrogeniones.

En los suelos los hidrogeniones están en la solución, pero también existen en el complejo de cambio, o sea hay dos tipos de acidez, activa o real (en solución) y de cambio o de reserva (para los adsorbidos). Ambas están en equilibrio dinámico. Si se eliminan H^+ de la solución se liberan otros tantos H^+ absorbidos. El suelo muestra una fuerte resistencia a cualquier modificación de su pH, está fuertemente tamponado. (Ávila, J. 2009).

- **Compactación**

La compactación del suelo provoca la desaparición de los espacios existentes entre las partículas del suelo, lo cual disminuye la cantidad de oxígeno presente y, por ello, la microflora y microfauna del suelo (Ortíz, R. 2008).

2.4.7. La erosión

La erosión significa el desgaste de la superficie terrestre continuo por acción de

las fuerzas del agua y el viento eliminando progresivamente la capa superficial que contiene una alta proporción de minerales, materia orgánica, elementos nutritivos y agua, necesarios para el crecimiento de la planta. Se puede distinguir dos tipos de erosión: la erosión geológica y la erosión acelerada, cada una de ellas representa un tipo distinto de remoción del suelo. La erosión por lo tanto, se produce cuando se practica un mal manejo de los recursos naturales. (Vogel, A. 200).

2.4.7.1. Tipos de erosión

- **Erosión hídrica**

El agua es un erosivo muy energético. Cuando el suelo ha quedado desprotegido de la vegetación y sometido a las lluvias, los torrentes arrastran las partículas del suelo hacia arroyos y ríos. El suelo, desprovisto de la capa superficial, pierde la materia orgánica (humus) y entra en un proceso de deterioro que puede originar hasta un desierto. Agente más importante es erosión es el agua. El impacto de la gota de agua lluvia produce un desprendimiento y salpicado del suelo dejando las partículas sueltas, que son acarreadas en suspensión hacia otros lugares por acción del escurrimiento superficial. (Tayupanta, J. Córdova, J. 1990).

- **Erosión eólica**

El viento es otro de los agentes de la erosión, el suelo desprovisto de la cortina protectora que forman los árboles, es víctima de la acción del viento que pule, tala y arrastra las partículas del suelo y de roca. (Vaca, E. 1990).

- **Erosión biológica**

Se lleva a cabo principalmente por acción de las raíces de las plantas, vegetales superiores, microorganismos, determinadas especies de mamíferos, artrópodos, gusanos, lombrices y hormigas remueven el suelo incrementando la aireación y

oxidación, acelera así el proceso de erosión. Los organismos vivos debido al continuo pisoteo de las rocas o el suelo y al comer parcial o totalmente la vegetación que le protege, lo disgregan y hacen que sea más fácilmente transportado por el agua o el viento; un caso típico constituye el sobrepastoreo. (Tayupanta, J., Córdova, J. 1990).

- **El hombre como agente erosivo**

En general, el término erosión del suelo se usa para significar erosión acelerada, o sea, aquella erosión que resulta como consecuencia de la perturbación del paisaje natural, usualmente producida por el hombre. Por otro lado, las actividades agrícolas, como las quemadas, pastoreo excesivo, tala de bosques y cultivos inadecuados, son actividades que alteran el equilibrio ecológico, aumentando el peligro de la erosión del suelo. La tierra es un agente dinámico, sujeta a permanentes cambios físico-químico-biológicos. Cuando el equilibrio natural no se ha perturbado, los procesos se desarrollan a un ritmo en que la remoción de las partículas se equilibra con la formación de un nuevo suelo. Por tanto, cuando la relación hombre-suelo no es adecuada, este equilibrio se rompe, produciendo erosión, degradación y pérdida de fertilidad. (Carvajal, M. 1990).

2.4.7.2. Erosión en el Ecuador

Aunque el proceso de la erosión ha tenido lugar a lo largo de toda la historia de la agricultura, se ha intensificado considerablemente en la segunda mitad del siglo XX, fundamentalmente como consecuencia de un laboreo excesivo que deja el suelo desmenuzado, más susceptible al arrastre y sin ninguna protección frente a los agentes causantes de la erosión (las gotas de lluvia, el agua de escorrentía y el viento). La erosión en el Ecuador es uno de los problemas de degradación más serios, la que afecta aproximadamente al 50% de suelo cultivado. Alrededor del 15% de las tierras degradadas se encuentran en el callejón interandino y sobre las vertientes que lo bordean. (Martínez et al, 2001).

La erosión por labranza con el arado de discos, en un suelo negro (Carchi) con 30% de pendiente se estimó en 40 Tm/ha/año. En general el Ecuador en su conjunto presenta una topografía bastante accidentada debida en primer lugar costanero y amazónico. Sin embargo, la erosión no se origina sobre estas fuertes pendientes. Sino que encuentra allí un medio favorable para su continuación. La erosión se inicia en forma general sobre pendientes menos fuertes y con un carácter ya grave; en la sierra se da el escurrimiento difuso que comienza a partir del 10% de pendiente y es rápidamente reemplazado por el escurrimiento concentrado desde 20% de pendiente. También se pueden observar taludes de erosión de 1 a 3 metros de alto, testigos de la obra conjunta entre el escurrimiento y los movimientos en masa, sobre pendientes de 10 a 15%. Cuando la dicha capa superior se pierde, sólo permanece el subsuelo, menos productivo. (Plaster, 2000).

2.4.7.3. Factores sociales y económicos que influyen en la erosión

- **El exceso de la población**

Cada terreno tiene una capacidad de producción máxima estable, el cual se alcanza al aplicar o a los mejores sistemas agrícolas conocidos. Ella no puede sobrepasarse sin el riesgo de afectar la reserva del suelo y disminuir su fertilidad. Cuando un número excesivo de personas tiene que extraer su sustento de cada hectárea de terreno, se ejerce gran presión de uso que da origen a prácticas y sistemas inconvenientes. Se destruyen entonces los bosques para sembrar cosechar alimenticias y se ponen bajo cultivo laderas con pendientes excesivos. (Mejía, T. y Hudur, J. 2003).

- **Tamaño de la finca**

Una finca demasiado pequeño ofrece escasas alternativas de usos. La combinación agricultura-ganadería, en la cual se dedica anualmente una proporción considerable de los terrenos a la producción de forrajes que protegen el suelo, es generalmente poco remunerativa en ella; los bosques tampoco dentro de sus

posibilidades. Para compensar el escaso ingreso total, el agricultor se ve obligado a explotar intensamente el suelo, sometiénolo a los mayores excesos y exponiéndole los mayores riesgos. (Mejía, T. y Hudur, J. 2003).

- **El nivel de conocimiento**

La ignorancia de las personas, factor preponderante de erosión, en muchos casos son los agricultores principalmente quienes de ella adolecen y no se dan cuenta ni de los daños que la erosión les está causando ni mucho menos de los sistemas de defenderse de esos daños. En muchos países la falta de grupos profesionales, con clara conciencia de los peligros de la erosión y los caminos que pueden tomarse para combatirla, es el factor más sobresaliente para el mantenimiento de las más inconvenientes situaciones, como resultado falta la dirección y las guías necesarias para iniciar estudios que aclaran las condiciones y las modalidades típicas del problema erosivo en casa zona y para emprender acciones adecuados de ayuda y asesoría de los agricultores. (Mejía, T. y Hudur, J. 2003).

2.5. PROPIEDADES DEL SUELO

El suelo es un sistema dinámico conformado por cuatro componentes básicos, materia mineral, materia orgánica (que incluye materia orgánica en diferentes grados de descomposición y microorganismos), agua y gases en proporciones tales que permitan el desarrollo de las plantas superiores. Los suelos difieren entre sí por sus propiedades físicas, químicas y biológicas. (Carvajal, M. 1990).

2.5.1. Clasificación taxonómica del suelo

2.5.1.1. Orden Andisoles

Suelos desarrollados sobre ceniza volcánica, que tienen baja densidad aparente (menor de 0.9 g/cc) y con altos contenidos de alófono. Generalmente son suelos con alto potencial de fertilidad y adecuadas características físicas para su manejo.

Sin embargo por sus mismas características y las posiciones que en algunos casos ocupan en el relieve tienden a erosionarse con facilidad. Una característica de los andisoles es su alta retención de fosfatos (arriba del 85 %) lo cual es limitante para el manejo, que se debe considerar en los planes de fertilidad. (Burt, R. ed. 2004).

2.5.1.2. Suborden Udands

Andisoles que no están secos en su interior, por más de 90 días/año. Tienen un adecuado contenido de humedad la mayor parte del año, se halla presente en climas húmedos. (ISRIC. 1995).

2.5.2. Características físicas del suelo

Más importantes son su textura, densidad aparente y estructura. Las propiedades físicas del suelo definen la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua y contribuyen a definir su erodabilidad y capacidad de uso. (Tayupanta, J. 1990).

2.5.2.1. Textura

La textura del suelo esta expresada por la distribución del tamaño de las partículas sólidas que comprenden a la composición granulométrica del suelo, previa dispersión de sus agregados. La textura se define como la proporción relativa de las partículas minerales, arena, limo y arcilla. La textura del suelo juega un papel muy importante en el riego, crecimiento de los cultivos, forma y tamaño de los poros, capacidad de almacenamiento y movimiento del agua, lámina, frecuencia y tiempo de riego, así como también la capacidad de almacenamiento de nutrientes. (Agronet. 2009).

De acuerdo al origen los siguientes tipos de suelo:

- **Suelos arenosos o livianos:** Son suelos sueltos con mucha aireación, baja retención de agua, permeable, poco fértil, en las zonas de alta pluviosidad.

- **Suelos arcillosos o pesados:** Son suelos con buenas propiedades químicas, pero de propiedades físicas de difícil manejo, poco permeables; se erosionan con facilidad debido a que el agua no penetra, sino que corre superficialmente y arrastra nutrientes.
- **Suelos limosos:** Las propiedades físicas y químicas de estos suelos hacen que se encharquen fácilmente, ocasionando algunos problemas a las plantas por deficiencia de oxígeno.
- **Suelos francos:** Estos suelos son ideales porque tienen proporción adecuada entre sus componentes (arena, limo, arcilla). Presentan proporciones físicas y químicas adecuadas para el desarrollo de las plantas. (ISRIC. 1995).

2.5.2.2. Estructura del suelo y agregados

Define el estado de agregación de las partículas componentes minerales u orgánicas. Depende de la disposición de sus partículas y de la adhesión de las partículas menores para formar otras mayores o agregados. Es la agrupación de las partículas minerales arena, limo y arcilla en agregados secundarios. Los agregados se forman por la acción cementante de la materia orgánica, atracción electrostática entre cationes-arcillas, presión ejercida por las raíces y por la expansión contracción de las arcillas. La estabilidad de los agregados depende de la textura, del contenido de la materia orgánica, de la labranza agrícola, de la actividad biológica de las raíces, insectos y microorganismos, del grado del desarrollo y la topografía. (Ortíz, R. 2008).

2.5.2.3. Densidad aparente del suelo

La densidad aparente se define como el peso seco de una unidad de volumen del suelo. Los factores que la afectan son principalmente tres: la textura, la estructura y la presencia de materia orgánica. Suelos con texturas arenosas tienden a tener densidades mayores que suelos, más finos al mismo tiempo en suelos bien estructurados los valores son menores, entrega valores promedios de densidad aparente (g/cm^3) para suelos de rocas y minerales 2.65; arena 1.9-1.7; Textura

franca 1.3-1.0; suelo rico en humus 0.9-0.8. La densidad aparente del suelo es un buen indicador de ciertas importantes características del suelo, a saber: porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración. En un tipo de suelo los valores bajos de densidad aparente implican suelos porosos, bien aireados con. Buen drenaje y buena penetración de raíces, todo lo cual significa un buen crecimiento y desarrollo de las plantas. También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de los suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen en el campo. (Donoso. 1992).

2.5.2.4. Humedad gravimétrica

Es el peso de suelo ocupado por el agua, si en una muestra de suelo humedecido 14 gr son de agua y 65 gr son de suelo, la humedad gravimétrica será el resultado de dividir 14 entre 65 y multiplicar por 100, es decir, el 21,5%. (Donoso. 1992).

2.5.2.5. Humedad volumétrica

Es el porcentaje de peso de suelo ocupado por el agua, si en una muestra de suelo humedecido, 12 cm³ son de agua y 48 cm³ son de suelo, la humedad volumétrica, será el resultado de dividir 12 entre 48 y multiplicar por 100, es decir, el 25. Da del suelo. La densidad aparente es la relación entre el peso de una muestra de suelo y el volumen que ella ocupa, y su valor es diferente para cada tipo de suelo si bien para suelos con textura similar, Da es muy parecido. Las unidades más frecuentes de la Da son gramos por centímetro cúbico (g/cm³). (Donoso. 1992).

2.5.2.6. Compactación del suelo

La compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él aumento de la resistencia mecánica del suelo va a restringir el crecimiento de las raíces a espacios de menor resistencia, y en espacios que se producen por la descomposición de restos orgánicos gruesos (raíces muertas). Este efecto se

agrava cuando se riega en forma excesiva, llegando a producirse la muerte de las raíces por asfixia. Esto debido a que los escasos macroporos que pueden airear el suelo van a permanecer llenos de agua gran parte del tiempo sin embargo, es bajo condiciones de intensivo uso agrícola que este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas. (Ortíz, R. 2008).

2.5.2.7. Porosidad del suelo

La porosidad es aquella parte del volumen total del suelo ocupada por las fases gaseosa líquida. La proporción relativa oxígeno-agua depende de las variaciones del contenido de humedad que se producen en este volumen. El tamaño de poros disminuye a medida que el contenido de humedad del suelo disminuye, los macroporos se drenan rápidamente con la aplicación de tensiones muy bajas, tensiones medias y los microporos con tensiones altas, esto significa que, el agua es retenida más fuertemente por las partículas del suelo cuando la humedad disminuye. Es un parámetro importante porque de él depende el comportamiento del suelo frente a las fases líquida y gaseosa, y por tanto vital para la actividad biológica que pueda soportar. (Ortíz, R. 2008).

2.6. LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Más importantes son la capacidad de intercambio catiónico, el grado de acidez o alcalinidad y la concentración de sales en el perfil. Las propiedades químicas de los suelos están, sobre todo, asociadas con su capacidad de uso con fines agrícolas. (Tayupanta, J. Córdova, J. 1990).

2.6.1. El pH del suelo

Se trata de una medida de la acidez o alcalinidad de la solución. El pH, es extremadamente importante para las plantas porque afecta directamente la disponibilidad de los nutrientes necesarios para el crecimiento eficiente de las plantas. Los suelos que son muy ácidos o demasiado alcalinos no favorecen la

solución de compuestos, y, por lo tanto, restringen la presencia de iones de nutrientes esenciales para las plantas. El pH del suelo es el resultado de muchos factores, entre otros, material parental del suelo. (Ávila, J. 2009).

2.6.2. Salinidad del suelo

Indica que la salinidad es la consecuencia de la presencia de sales en el suelo. Por sus propias características se encuentran tanto en la fase sólida como en la fase líquida por lo que tiene una extraordinaria movilidad. (Ávila, J. 2009).

2.6.3. Acidez del suelo

Mantiene que la acidez presente en el suelo corresponde a la concentración de iones hidrogeno en disolución, extraída de la mezcla de suelo y agua o del suelo y una disolución extractora. La acidez en el suelo reduce el crecimiento de las plantas, ocasiona disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como Ca, Mg, K y P, favorece la solubilización de elementos tóxicos para las plantas como el Al y Mn. Aunque la acidificación es un proceso natural, la agricultura y otras actividades humanas aceleran este proceso. Es fundamental entender la química que explica el proceso de acidificación de los suelos. (Ávila, J. 2009).

2.6.4. Capacidad de Intercambio Catiónico

Manifiesta que la (CIC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos. Éstas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores. También puede ser definida como las cargas negativas por unidad de cantidad de coloide que es neutralizada por cationes de intercambio. La capacidad de intercambio catiónico es la capacidad del suelo para retener el intercambiar diferentes elementos minerales. Esta capacidad aumenta notablemente con la presencia de materia orgánica, y podría decirse que es la base de lo que llamamos fertilidad del suelo. (Ortíz, R. 2008).

2.6.5. Contenido de Nutrientes

Refiere que entre las deficiencias del suelo que afectan a la productividad, la falta de nutrientes es especialmente problemática. Los nutrientes más necesarios para un buen crecimiento de las plantas son el N, P, K, Fe, Ca, S y Mg, todos los cuales están presentes en la mayoría de los suelos en cantidades variables. La mayor parte de las plantas requiere diminutas cantidades de microelementos presentes en el suelo las que se encuentran son: Mg, Zn, Cu y B. (Agromat, 2006).

2.6.6. Materia Orgánica

La materia orgánica forma parte del ciclo de N, P y K, mismas que contribuye a la asimilación de nutrientes, mejora la estructura y la retención de agua del suelo y da soporte a todo un mundo de microorganismos cuya actividad resulta beneficiosa para el cultivo. La descomposición en mayor o menor grado de estos seres vivos, provocada por la acción de los microorganismos o por factores abióticos da lugar a un abanico muy amplio de sustancias en diferentes estados que son los constituyentes principales de la MO. (Espinosa, J., and F. Mite. 2002).

2.6.7. Conductibilidad Eléctrica

La conductividad eléctrica de una disolución puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica, y dependerá, además del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse. (Espinosa, J. 2002).

2.6.8. Macro y micro nutrientes del suelo

- **Macronutrientes**

Los macronutrientes son aquellos elementos primordiales para el desarrollo de los cultivos y son absorbidos por las raíces de las plantas en grandes proporciones

para su buen desarrollo. Dentro de los macronutrientes tenemos los siguientes elementos.

- **Nitrógeno (N).**

El nitrógeno es importante en el cultivo porque es un componente esencial de los aminoácidos, proteínas, clorofila, de las enzimas y otros componentes que se encuentran en las membranas celulares. La mayor parte del nitrógeno presente en el tejido vegetal de la planta se presenta como proteína enzimática en los cloroplastos y formando parte de la proteína en las semillas. La principal función del nitrógeno es estimular el crecimiento de la planta, especialmente en la etapa inicial de crecimiento vegetativo, generando un alto índice de área foliar y prolongando el período útil de las hojas a través del tiempo. Además regula la cantidad de hormonas dentro de la planta. Una deficiencia de nitrógeno reduce y retrasa el crecimiento de la planta, disminuye el número de semillas y su peso, lo que se traduce en un menor rendimiento. Se produce un menor desarrollo de las vainas y, en etapas fenológicas más avanzadas, estas vainas no podrían redistribuir el nitrógeno asimilado a las semillas. La falta de N reduce la cantidad de flores y acorta el periodo de floración y la actividad fotosintética, debido a que aumenta la producción de ácido abscísico. (Espinosa, J., and F. Mite. 2002).

- **Fósforo (P).**

El P es esencial para el transporte y almacenamiento de energía en la planta. El P es móvil dentro de la planta, promueve el macollamiento, el desarrollo de la raíz, la floración temprana y la maduración. Es particularmente importante en las primeras fases de crecimiento. La primera señal de la falta de P es una planta pequeña, la forma de la hoja se distorsiona, cuando la deficiencia es severa se desarrollan áreas muertas en la hoja el fruto y el tallo debido a su baja movilidad las hojas bajas son las primeras en afectarse, un color púrpura rojizo aparece por la acumulación de azúcares, aparece en la planta de maíz en otros cultivos

sensibles al déficit de P especialmente a bajas temperaturas, adicionalmente la falta de P retarda la madurez. (Lynch y Brown, 2001).

- **Potasio (K).**

El K tiene funciones esenciales en las células de la planta y se requiere para el transporte de los productos de la fotosíntesis. El K fortalece las paredes celulares y contribuye a una mayor fotosíntesis y a mayor crecimiento de la planta, cuando existe deficiencia se reduce el proceso fotosintético y aumenta la respiración. A diferencias del N y P, el K no tiene un efecto mayor en el macollamiento, sin embargo, su presencia incrementa el número de granos por mazorca, el porcentaje de granos y el peso. La deficiencia de K en maíz se presenta con los siguientes síntomas: Acortamiento de los nudos y crecimiento reducido, quemado o secamiento de los márgenes exteriores de la hoja mientras que la parte media permanece verde, mazorcas que no se llenan completamente y grano de mal aspecto. (INPOFOS. 1997).

- **Calcio (Ca).**

El Ca pertenece a los llamados nutrientes secundarios, este es absorbido por la planta en forma de catión Ca^{++} , una vez dentro de la planta, el Ca funciona en varias formas: estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas, ayuda a activar varios procesos enzimáticos, influye indirectamente en el rendimiento. La deficiencia de Ca generalmente aparece primero en las hojas jóvenes, también limita la función de las raíces y puede predisponer la toxicidad de Fe. Un adecuado suplemento de Ca incrementa la resistencia a enfermedades causado por (*Xanthomonas* o *Helminthosporium*). (León, L. A. 2001).

- **Magnesio (Mg).**

El Mg es constituyente de la clorofila y por lo tanto está involucrado en la fotosíntesis. El Mg es muy móvil puede translocarse fácilmente de hojas viejas a

hojas jóvenes, por esta razón, los síntomas de deficiencia aparecen primero en hojas inferiores viejas, las hojas presentan un color amarillento, bronceado o rojizo, mientras que las nervaduras se mantienen verdes, en el maíz se presentan fajas amarillentas a lo largo de las hojas. (INPOFOS. 1997).

- **Micronutrientes:**

Consideramos micronutrientes a los elementos esenciales cuya concentración en planta es menor a 0.1% en peso seco. Actualmente se consideran micronutrientes a los siguientes elementos: Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, Boro, Molibdeno, Cloro, Níquel. (INPOFOS. 1997).

Los micronutrientes presentan dos características generales que les diferencian de los macronutrientes:

- El orden de magnitud de las concentraciones de micronutrientes en los tejidos vegetales es significativamente inferior a los de los macronutrientes.
- Los micronutrientes no participan en procesos que dependen de concentración, como los osmóticos, pH, antagonismo catiónico.
- Una excepción es el cloro que puede tener un papel osmótico.
- Tampoco suelen desempeñar funciones estructurales, a excepción del boro en la pared celular. (INPOFOS. 1997).

- **Zinc (Zn).**

El Zn es esencial para varios procesos bioquímicos en la planta de maíz. El Zn se acumula en las raíces, pero puede traslocarse hacia las partes de la planta. Zn deficiencia de Zn son más comunes en las hojas jóvenes. La deficiencia de Zn en maíz hace que el ápice se torne de color amarillento claro a blanco en las etapas iniciales de crecimiento de la planta, las hojas desarrollan franjas de color amarillento (clorosis) localizadas a ambos lados de la nervadura central. (INPOFOS. 1997).

- **Azufre (S).**

El S es absorbido por la planta desde la solución del suelo en forma de SO_4 siendo el S parte de todas y cada una de las células vivientes participa en la síntesis de proteínas, forma parte 2 de los 21 aminoácidos. También interviene en el metabolismo de los carbohidratos, ayuda a la formación de la semilla. Las plantas que tienen deficiencia de S presentan un color verde pálido y crecimiento lento, las hojas se arrugan a medida que la deficiencia avanza, los síntomas de deficiencia son similares a los de N con la diferencias que siendo menos móvil el S son más visibles en las hojas más jóvenes. (Ortíz, R. 2008).

- **Silicio (Si).**

El Si es un nutriente “benéfico” para el maíz. La planta requiere este elemento para desarrollar hojas, tallos y raíces fuertes. La eficiencia del uso del agua se reduce en plantas que tienen deficiencia de sí. (León, L.A. 2001).

- **Hierro (Fe).**

El Fe es un metal que cataliza la formación de la clorofila y actúa como un transportador del oxígeno, también ayuda a formar ciertos sistemas enzimáticos que actúan en los procesos de respiración. La deficiencia de Fe puede ser causada por un desbalance con otros metales como Mo, Cu o Mn, también puede influir un exceso de P en el suelo, niveles bajos de MO en el suelo. (INPOFOS. 1997).

- **Manganeso (Mn).**

El Mn está involucrado principalmente en el sistema enzimático de la planta, activa varias reacciones metabólicas importantes. El Mn acelera la germinación y la maduración de las plantas e incrementa la disponibilidad de P y Ca debido a la deficiencia aparecen primero en las hojas jóvenes como un amarillamiento entre

las venas, las deficiencias de Mn ocurren con más frecuencia en suelos con alto contenido de materia orgánica y con pH de neutro a alcalinos. (INPOFOS. 1997).

- **Cobre (Cu).**

El Cu tiene un papel importante en los siguientes procesos: metabolismo de N, proteínas y hormonas, fotosíntesis y respiración, formación y fertilización del polen. Los síntomas comunes de la deficiencia de Cu en cereales son la falta de formación de panoja o granos, las hojas pierden la turgencia, que luego desarrollan un color azul-verdoso y luego se tornan cloróticas finalmente enrollándose. Los suelos orgánicos son los más propensos a ser deficientes en Cu, por lo general tienen cantidades adecuadas de Cu sin embargo es tan fuertemente retenido que muy poca cantidad está disponible para el cultivo, mientras los suelos arenosos presentan deficiencia por la lixiviación. (INPOFOS. 1997).

- **Boro (B).**

El B es esencial para la germinación de los granos de polen, el crecimiento del tubo polínico y para la formación de semillas, además tiene un importante constituyente de la pared celular. Debido a que el B no se trasloca al crecimiento nuevo, los síntomas de deficiencia generalmente aparecen primero en las hojas jóvenes, otro síntoma de deficiencia es la detención en el crecimiento de las plantas. La respuesta de los cultivos a la fertilización es muy variada siendo los cereales los que menos responden, existe un estrecho rango entre la deficiencia de B y la toxicidad por lo cual los fertilizantes que contengan este nutriente deberán ser aplicados con sumo cuidado y uniformemente. (León, L.A. 2001).

2.6.9. Solución del suelo

Manifiesta que la solución del suelo es la fase hídrica o líquida del suelo en la cual se encuentran disueltos los elementos nutritivos a disposición de los cultivos. La solución del suelo es muy compleja y tiene importancia primordial al ser el medio

por el que los nutrientes son absorbidos por las raíces de las plantas. Cuando la solución del suelo carece de los elementos requeridos para el crecimiento de las plantas, el suelo es estéril. (Agronet, 2009).

2.6.10. Relación carbono nitrógeno

La Relación Carbono. Nitrógeno debe ser equilibrada (25-30: 1). Con dicha relación C/N se logra que los nutrientes estén disponibles para la planta en el menor tiempo con las menores pérdidas de N. Lo que tenemos es un aporte muy alto de C, es decir una relación C/N desequilibrada. (Labrador, J. 1997).

Cuando la relación C/N es muy elevada, como en este caso, disminuye la actividad biológica y el proceso de mineralización demora mucho tiempo, y lo inverso, relación C/N baja, predispone a las pérdidas de N (Amonio). Es de suma importancia considerar el efecto de la Inmovilización Microbiana del Nitrógeno, ya que para descomponer en el suelo restos de cosecha por lo general ricos en Carbono (relación C/N mayor) es necesario que los microorganismos tomen nitrógeno del suelo, compitiendo con las plantas por este elemento. Lo ideal es fomentar procesos de descomposición o biotransformación bien manejados a nivel de campo, al lado de la planta es posible obtener así la MO (Labrador, J. 1997).

2.6.11. Índice de nitrógeno

El nitrógeno como elemento esencial, promueve los procesos metabólicos y de crecimiento de las plantas, el mismo que es asimilado en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). La pérdida de nitrógeno en la agricultura tiene un impacto negativo de contaminación de los acuíferos, aire, suelo, cantidad y calidad del agua. Nuevas herramientas son necesarias para evaluar rápidamente esas pérdidas y proveer de alternativas tecnológicas sustentables.

El Índice de nitrógeno es una herramienta que nos permite evaluar los siguientes indicadores del sistema:

- Nitrógeno total del sistema
- Volatilización del amoníaco
- Desnitrificación
- Extracción de nitrógeno por el cultivo
- Índice de lixiviación
- Nitrógeno total lixiviado
- Nitrato residual
- Eficiencia del sistema
- Proporción de nitrógeno aplicado: nitrógeno removido por el cultivo

El Índice de nitrógeno puede ser usado para hacer comparaciones rápidas de diferentes escenarios y seleccionar las mejores prácticas de manejo del sistema de producción y que contribuyan a la reducción de la contaminación del ambiente. Además las cantidades liberadas son afectadas por las prácticas de manejo; así la labranza de conservación (siembra directa) reduce en suelos cada vez más fríos, donde los procesos de descomposición de la materia orgánica son más lentos y liberan menor cantidad de N, actualmente debido a la intensificación de los cultivos se emplean fuentes artificiales para la obtención de N partiendo de procesos químicos, dentro de las más importantes tenemos la urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, que contiene 46% de N el sulfato de amonio $\text{SO}_4(\text{NH}_4^+)_2$ contiene 21% de N y 24% de S, nitrato de amonio $\text{NO}_3^-\text{NH}_4^+$ que contiene 33.5 a 34% de N, la mitad en forma de nitrato y la otra mitad en forma de N amoniacal. (Witt, C. 2004).

- **Incorporación del nitrógeno en las plantas**

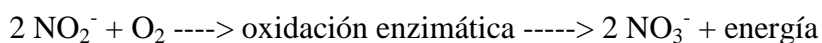
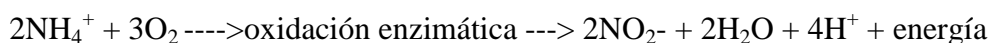
La asimilación del nitrógeno requiere una serie compleja de reacciones bioquímicas con un alto costo energético. En la asimilación del nitrato (NO_3^-), el nitrógeno de este compuesto es convertido en una forma de energía superior, nitrito (NO_2^-), luego en una mayor forma de energía, amonio (NH_4^+) y finalmente nitrógeno amídico en la glutamina. Las plantas asimilan la mayor parte del nitrato absorbido por sus raíces en compuestos orgánicos nitrogenados. La primera etapa de este proceso es la reducción de nitrato a nitrito en el citoplasma. Dado que el

nitrito formado es altamente reactivo, siendo un ión potencialmente tóxico, las células vegetales lo transportan inmediatamente después de ser generado a los cloroplastos en las hojas y a los plastidios en las raíces. (Rimski-Korsakov, H., G. Rubio y R.S. Lavado. 2007).

- **Nitrificación**

En este proceso, el amonio (NH_4^+) se transforma primero en nitrito (NO_2^-), y éste en nitrato (NO_3^-) mediante la acción de las bacterias aerobias del suelo. El proceso se lleva a cabo en dos etapas coordinadas, controlada cada una por diferentes grupos de bacterias. Globalmente se las llama nitrobacterias.

El grupo encargado de la oxidación de los nitritos a nitratos recibe el nombre de Nitrobacter. El esquema de las transformaciones es el que sigue:



Debido a que normalmente el nitrito se transforma en nitrato con mayor rapidez que se produce, los niveles de nitrito en los suelos suelen ser muy bajos en comparación con los de nitrato. Bajo condiciones adecuadas, la nitrificación puede transformar del orden de 10-70 kilogramos de nitrógeno por hectárea por día. Esto implica que un abonado en forma amónica puede transformarse casi totalmente en nitrato en unos pocos días si la humedad y temperatura del suelo son favorables. En ocasiones, debido a que la nitrificación es más rápida que la mineralización, se emplea el término mineralización para indicar el proceso global de conversión del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral (fundamentalmente nitrato y amonio). (Rimski-Korsakov, H., G. Rubio y R.S. Lavado. 2007).

- **Inmovilización**

La mineralización es la transformación del nitrógeno orgánico en amonio (NH_4^+) mediante la acción de los microorganismos del suelo. La inmovilización es el

proceso contrario. Como ambos actúan en sentido opuesto, su balance se denomina mineralización neta. La mineralización neta de la materia orgánica del suelo depende de muchos factores, tales como el contenido en materia orgánica, la humedad y la temperatura del suelo. En climas templados la mineralización neta anual es, aproximadamente, el 1-2% del nitrógeno total, y esto supone una producción de nitrógeno mineral de unos 40 a 150 kg/ha, en los primeros 30 cm del suelo. (Rimski-Korsakov, H., G. Rubio y R.S. Lavado. 2007).

- **Fuentes de nitrógeno**

El nitrógeno no se encuentra en la fracción mineral del suelo. De tal manera; que el nitrógeno existente en el suelo proviene de diferentes fuentes como:

- **Fuentes químicas**

El contenido de nutrientes de origen natural en los suelos, generalmente no es suficiente para una adecuada fertilidad, por esa razón se emplean los químicos

Los fertilizantes nitrogenados pueden ser de cuatro tipos:

- **Nítricos:** aportan el nitrógeno entre el 11 y el 16% en forma de nitratos. Ejemplos: NaNO_3^- , $\text{Ca}(\text{NO}_3^-)_2$, KNO_3^- .
- **Amónicos:** aportan el nitrógeno en alrededor del 21% en forma de amonio. Ejemplo: $(\text{NH}_4^+)_2\text{SO}_4$
- **Amónicos y nítricos:** aportan el nitrógeno entre el 20 y 34% en formas de nitratos y amonio. Ejemplos: $(\text{NH}_4^+) \text{NO}_3^-$, $\text{Ca}(\text{NH}_4^+)_2$ y $(\text{NH}_4^+)_2\text{SO}_4$.
- **Amidas:** aportan en nitrógeno entre el 21 y el 45% en forma de amidas. Ejemplo: urea cianamida de calcio. La acción de éstos es más lenta pues el nitrógeno amídico deberá transformarse en nitrógeno amónico y de nitratos. El nitrato de amonio es uno de los fertilizantes nitrogenados más empleados en la agricultura, se obtiene industrialmente a partir del amonio y del ácido nítrico y su composición en nitrógeno es del 33 al 34.5%.

- **Fuentes naturales.**

Los nitratos también existen en forma natural en algunos alimentos, particularmente en algunos vegetales. Los nitritos se forman por la oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en el medio acuático o terrestre, o por la reducción bacteriana del nitrato. Son productos intermedios del ciclo completo de oxidación-reducción y sólo se encuentran presentes en condiciones de baja oxidación. Los nitratos derivan de la descomposición natural, por microorganismos, de materiales nitrogenados orgánicos como las proteínas de las plantas, animales y excretas de animales. El ion amonio formado se oxida a nitritos y nitratos según un proceso de oxidación biológica (nitrificación). Aunque la presencia natural de nitratos y nitritos en el medio ambiente es una consecuencia del ciclo del nitrógeno, por lo común los nitritos se encuentran en bajas concentraciones. (Rimski-Korsakov, H., G. Rubio y R.S. Lavado. 2007.).

- **Fuentes orgánicas**

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos, está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura ecológica, se le da gran importancia a este tipo de abonos, y cada vez más, se están utilizando en cultivos intensivos. No podemos olvidarnos la importancia que tiene mejorar diversas características físicas, químicas y biológicas del suelo. Con estos abonos, aumentamos la capacidad que posee el suelo de absorber los distintos elementos nutritivos, los cuales aportaremos posteriormente con los abonos minerales o inorgánicos. (Rimski-Korsakov, H., G. Rubio y R.S. Lavado. 2007.).

2.7. LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO

Están asociadas a la presencia de materia orgánica y de formas de vida animal, tales como microorganismos, lombrices e insectos. Contribuyen a definir su capacidad de uso y su erodabilidad. Los cambios en estas propiedades generados

por cualquier intervención del proyecto pueden ocasionar impactos negativos in situ o aguas abajo del sitio de intervención. Así por ejemplo, el uso intensivo de maquinaria agrícola puede conducir a la pérdida de estructura de los suelos (por compactación) y, consecuentemente, a la reducción de su capacidad de infiltración. Esto puede contribuir a incrementar la escorrentía superficial y originar procesos erosivos lineales. (cárcavas, zanjas o fosos) (Mejía, L. 2000).

2.7.1. Contenido de materia orgánica del suelo

Manifiesta que la materia orgánica representa del 95 al 99% del total del peso seco de los seres vivos, pero su presencia en los suelos suele ser escasa y son contadas las excepciones en las que supera el 2%, el nivel deseable de materia orgánica en los suelos arcillosos medios es del 2%, pudiendo descender a 1,65% en suelos pesados y llegar a un 2,5% en los arenosos. (Agronet. 2009).

2.7.2. Fauna biológica del suelo

Señala que la existencia, en los suelos agrícolas, de macro y microorganismos vivos que cumplen, como función principal, descomponer la materia orgánica y convertirla en humus, el cual se combina con la parte mineral del suelo y forma los compuestos órgano- minerales, de alta actividad química y físico química. Los organismos vivos del suelo necesitan de aire, agua y calor, los cuales son proporcionados, en dependencia de las propiedades físicas del suelo. Los suelos contienen una amplia variedad de formas biológicas, con tamaños muy diferentes, como los virus, bacterias, hongos, algas, ácaros, lombrices, nematodos, hormigas y, por supuesto, las raíces vivas de las plantas superiores. La importancia relativa de cada uno de ellos depende de las propiedades del suelo. El mismo autor acota que las bacterias son organismos procariotas unicelulares; la mayor parte de ellas presenta forma esférica cocos o de bastón bacilos y son importantes debido a que algunas realizan funciones específicas como la oxidación del amoníaco a nitratos, mientras que otras intervienen en el proceso general de descomposición de materiales orgánicos. Indica que las propiedades biológicas del suelo son muy

importantes, ya que está constituida por la microfauna del suelo, como hongos, bacterias, nematodos, insectos y lombrices, los cuales mejoran las condiciones del suelo acelerando la descomposición y mineralización de la materia orgánica, además que entre ellos ocurren procesos de antagonismo o sinergia que permite un balance entre poblaciones dañinas y benéficas que disminuyen los ataques de plagas a las plantas. (Martin, A., *et al.*, 1980).

2.7.3. Características biológicas del suelo

El suelo es una mezcla de materias orgánicas e inorgánicas conteniendo una gran variedad de macroorganismos (por ejemplo lombrices, hormigas, tijerillas, etc.) y microorganismos (como bacterias, algas, hongos). El suelo provee ancla y soporte para las plantas, las cuales extraen agua y nutrientes. Estos nutrientes están devueltos al suelo por la acción de los organismos del suelo sobre las plantas muertas o en vía de morirse y la materia de origen animal. La fertilidad es la función principal de la eficiencia en este ciclo de reciclaje continuo. La actividad aumenta conforme aumenta la temperatura (pero cesa de nuevo cuando hace mucho calor). La diferencias de ritmo de reciclaje de nutrientes es responsable del incremento en el ritmo de crecimiento y del aumento de la diversidad de las especies al cambiar un área templada a una región tropical. (García, F. 2006.).

- **Macroorganismos**

Forman parte del ecosistema del suelo, las raíces de vegetales y pueden ser:

- **Mamíferos.-** (ratones, topos) crean galerías que permiten la penetración del agua y aire en el suelo.
- **Artrópodos.-** (crustáceos, arácnidos, etc.) trocean la materia orgánica y producen con sus excrementos un soporte adecuado a la vida microbiana.
- **Lombrices.-** escavan galerías en todos los sentidos el suelo y mezclar la tierra y la materia orgánica en su intestino mejoran la fertilidad del suelo.
- **Moluscos.-** (babosas) comen la materia orgánica. (García, F. 2006.).

- **Microorganismos**

Los microorganismos son el conjunto de seres vivos que se caracterizan por tener un tamaño pequeño de modo que la mayoría de ellos no son visibles.

Dentro de los cuales tenemos los grupos principales:

- **Cianobacterias:** Realizan la fotosíntesis oxigénica. Tienen nutrición autótrofa y muchas asimilan nitrógeno atmosférico, gracias a la enzima nitrogenasa. Por eso habitan cualquier ambiente siendo sus preferidos: manantiales, rocas mojadas, aguas dulces y el suelo.
- **Bacterias:** Fototróficas anoxigénicas: Realizan la fotosíntesis anoxigénica y la fijación del CO₂ es mediante el ciclo de Calvin.
- **Algas:** Nutrición autótrofa y que viven en medios acuáticos. Pertenecen al heterogéneo mundo de los microorganismos. Son omnipresentes en todas las aguas, constituyendo más del 90% del fitoplancton, auténtico forraje de mar.
- **Hongos:** Se incluyen en el heterogéneo a los microorganismos por su tamaño.
- **Mohos:** Hongos que se caracterizan por su pequeño. Son heterótrofos en sus tres variantes: saprófitos, parásitos y simbioses. Como simbioses son notorios los que viven sobre las raíces de muchas plantas formando una asociación denominada micorriza. (Martin, A., *et al.*, 1980).

Los microorganismos presentan los siguientes beneficios:

- **Reciclado de nutrientes:** Los microorganismos son responsables del reciclado de la materia orgánica en descomposición.
- **Fijación del nitrógeno atmosférico:** En la producción de soja, alfalfa, judías, lentejas, cuya simbiosis con la bacteria *Rhizobium sp.* ya ha sido expuesta.
- **Eliminación de varios contaminantes:** mediante el empleo de microorganismos de Biodegradación de plaguicidas: incluimos herbicidas, insecticidas y fungicidas utilizados en agricultura. (Martin, A., *et al.*, 1980).

2.8. METODOLOGÍAS APLICADAS PARA ANÁLISIS DEL SUELO

2.8.1. Tipos de análisis del suelo

En el laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos, Plantas y Aguas (D.M.S.A.) de la (E.E.S.C.) del INIAP se realizan 4 tipos de análisis químicos y físicos del suelo.

- **Análisis Elemental**

Este tipo de análisis proporciona información sobre N, P, K, Ca, Mg, según el pH (Al + H), y conductividad eléctrica (C. E.).

- **Análisis Completo**

Este tipo de análisis proporciona información sobre materia orgánica del suelo (M. O. S.) capacidad de intercambio catiónica efectiva (C. I. C. E.), relaciones Ca/Mg, Mg/K, Ca + Mg/K, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn, Fe, y según el pH (Al + H, C. E. y Na). Este análisis se recomienda realizar cuando se requiere tener un conocimiento más detallado de un suelo.

- **Análisis de Salinidad**

Este tipo de análisis proporciona información sobre pH, C. E., K, Ca, Mg, Na, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , R. A. S. Se recomienda realizar este análisis cuando se sospecha que el suelo tiene problemas de salinidad

- **Análisis Especiales**

Este tipo de análisis proporciona información sobre textura, curva de retención de humedad, densidad aparente, porcentaje de humedad, compactación, capacidad de intercambio catiónica (C.I.C.), por elemento, nitrógeno total y materia orgánica

(M.O S.). Este análisis se recomienda hacer cuando se necesita analizar las características físicas y el contenido de los elementos de suelo (D.S INIAP S.C.).

2.8.2. Determinaciones Físicas y Químicas.

Las determinaciones físicas y químicas que realiza el laboratorio del INIAP de la Estación Experimental Santa Catalina son las siguientes:

- **Determinación física**
- **Determinación de la textura: Método Densimétrico (Bouyoucus).**

Objetivo

Consiste en la determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en la fracción mineral del suelo. Estos porcentajes se obtienen mediante la separación de las partículas en grados clasificados de acuerdo a su diámetro.

- **Arena.** Se consideran arena, las partículas comprendidas entre 2.00 y 0.05 mm de diámetro.
- **Limo.** Se consideran limos, las partículas comprendidas entre 0.05 y 0.002 mm de diámetro.
- **Arcilla.** Se consideran arcillas, las partículas con diámetros menores que 0.002 mm de diámetro. Con los porcentajes de arena, limo y arcilla, se va al triángulo de texturas y se determina la clasificación textural para cada suelo.

Principio

Análisis granulométrico por densimetría con hidrómetro de Bouyoucos. En la suspensión de suelo colocada en una probeta de sedimentación, la densidad a una profundidad determinada va disminuyendo a medida que se sedimentan las partículas, como éstas sedimentan a velocidades proporcionales a su tamaño,

seleccionando los tiempos, una lectura de la densidad puede servir de medida del contenido limo más arcilla o de arcilla. (D.S. INIAP Santa Catalina).

Extractante. Hidróxido de Sodio 0.1 N.

- **Determinaciones químicas**
- **Determinación del pH: Método potenciométrico.**

Objetivo

El término de pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógenos expresados en moles por litro. Los métodos electrométricos usualmente miden la actividad iónica por lo que el pH puede definirse más apropiadamente como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógenos expresada en mol/dm³ (1, 10). La determinación del pH sirve de pauta para interpretar algunas características de los suelos y sus propiedades ácidas o alcalinas y el funcionamiento general en cuanto a la utilización y solubilidad de los nutrientes del suelo.

Principio

El pH se determina midiendo con un potenciómetro la fuerza electromotriz de un par de electrodos, que incluyen un electrodo de vidrio sensible a pH. La sensibilidad se la confiere al electrodo una membrana delgada de vidrio especial que desarrolla un potencial eléctrico en respuesta a un cambio de concentración de H⁺. Las diferencias del voltaje entre los dos electrodos se miden por un voltímetro que se ha calibrado para leer directamente en unidades de pH siempre que se ajuste inicialmente con una solución tampón de pH conocido. La dilución utilizada es (1:2.5) el líquido puede ser agua (pH-H₂O); K Cl 1M (pH-K Cl) o Ca Cl₂ 0.01 M (pH-Ca Cl₂) (D.S. INIAP S. C.).

Extractante. Agua

- **Determinación de la Acidez Intercambiable ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$). Método Volumétrico**

Objetivo

En suelos minerales la hidrólisis del aluminio intercambiable es la fuente principal de iones hidrógeno, por lo que el grado de acidez del suelo está íntimamente relacionado con el aluminio intercambiable presente en el complejo coloidal. La determinación de la acidez intercambiable es necesario realizarla cuando el valor de pH es inferior o igual a 5.5.

Principio

Extracción de la acidez intercambiable con solución salina de KCl 1 N no tamponada, se forma AlCl_3 que hidroliza parcialmente al ácido correspondiente, titulando la solución ácida resultante con Na OH 0.01 N. La cantidad de base utilizada en la titulación es equivalente a la concentración de acidez intercambiable del suelo.

Extractante. Cloruro de Potasio 1 N.

- **Determinación de la Conductividad Eléctrica. Método Conductimétrico**

Objetivo

Determinar el contenido de sales solubles presentes en el suelo, cuyo resultado es muy importante para proyectos de riego y sobre todo para establecer la factibilidad de utilización del mismo en la agricultura, u otros usos.

Principio

La medición se basa en el principio de que las sales disueltas conducen la corriente eléctrica en proporción a la concentración de las sales o constituyentes ionizados para medir la conductividad eléctrica de un extracto acuoso de suelo mediante un aparato de Wheatstone o puente salino de una pareja de electrodos que se sumergen en el extracto. La conductividad equivalente se define como la conductividad de una cantidad de dilución que contenga un equivalente gramo del electrolito, colocada entre los electrodos separados 1 cm y dispuestos de modo que cubran los lados opuestos del volumen de la solución. (D.S. INIAP S. C.).

Los datos se expresan en dS/m; considerando las siguientes equivalencias:

$$1 \text{ S/cm} = 1 \text{ mhos/cm} \quad \text{dS/m} = 1 \text{ mmhos/cm} = 1 \text{ mS/cm}$$

Extractante. Pasta de saturación

- **Determinación de la Materia Orgánica del Suelo. Método Volumétrico (Walkley Y Black).**

Objetivo

Determinación del contenido de materia orgánica fácilmente oxidable del suelo, expresada como porcentaje. Al obtener la concentración de carbón orgánico, se saca la relación carbón-nitrógeno a fin de determinar el grado de formación, la evolución de un suelo y la disponibilidad del nitrógeno para las plantas y los microorganismos.

Principio

La determinación se basa en una oxidación incompleta en frío del carbono por un exceso de dicromato de potasio en medio sulfúrico, y la cuantificación del exceso

de dicromato de potasio con la sal de Morh. (D.S. INIAP S. C.).

Extractante. Dicromato de Potasio 1 N.

- **Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico Método Físico y Químico**

Objetivo

Utiliza una sola extracción para determinar los cationes de cambio y la capacidad de intercambio, además permite trabajar sobre una sola muestra favoreciendo así una homogeneización de los datos, y lo que no es despreciable.

Principio

Desplazamiento de los cationes de cambio del complejo de absorción por el amonio de una solución salina a pH neutro (acetato de amonio uno normal). Determinación efectuada por espectrofotometría de absorción atómica. Lavado del suelo residual con etanol al 5% para eliminar el exceso de amonio.

Extractante. Acetato de Amonio 1 N pH 7.

- **Determinación del Nitrógeno Amoniacal. Método Fotolorimétrico**

Objetivo

Cuantificar el nitrógeno amoniacal disponible para las plantas en el suelo.

Principio

El compuesto de azul indofenol se obtiene en la reacción a pH alto del amonio e hipoclorito. Ca y Mg se complejan con el citrato para evitar interferencias.

Extractante. Olsen modificado (Bicarbonato de sodio + EDTA + Superflow).

- **Determinación del Nitrógeno Total. Método de Destilación**

Objetivo

- **Determinar el nitrógeno total en el suelo.**

Principio

El análisis de nitrógeno total se realiza a través de un proceso de digestión de la muestra utilizando ácido sulfúrico en presencia de catalizadores como el sulfato de potasio, sulfato de cobre y dióxido de selenio en este proceso se produce anhídrido carbónico, agua, anhídrido sulfuroso y sulfato de amonio. Este último es destilado y recogido en una solución de ácido bórico, para finalmente ser valorado con ácido sulfúrico utilizando una mezcla de indicadores de verde de bromocresol y rojo de metilo. (D.S. INIAP S. C.).

Extractante. Ácido Sulfúrico.

- **Determinación de Fósforo. Método Fotocolorimétrico**

Objetivo

El fósforo disponible define los grados de deficiencia, suficiencia o exceso de este elemento en relación con su disponibilidad para los cultivos.

Principio

Se basa en la medición de la intensidad del color producido por el complejo azul de fosfomolibdato. Este complejo que es heteropoliácido se forma por la reacción

del ión ortofosfato con el ión molibdato en medio ácido. El ácido ascórbico reduce parcialmente el complejo formado y genera el color azul.

Extractante. Olsen modificado.

- **Determinación del K, Ca y Mg. Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica**

Objetivo

Determinar la cantidad de K, Ca y Mg extraído por la solución Olsen (pH a 8.5).

Principio

Los elementos K, Ca, Mg en solución son atomizados en la llama aire-acetileno lo que permite que se absorba la radiación proveniente de una lámpara del mismo elemento en forma proporcional a la cantidad de átomos presentes. La adición de óxido de lantano se elimina la interferencia de carácter químico.

Extractante. Olsen modificado.

- **Determinación de Micro-elementos (Cu, Fe, Mg y Zn). Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica**

Objetivo

- Determinar la cantidad de Cu, Fe, Mn y Zn, extraída por la solución Olsen (pH a 8.5).

Principio.

Los elementos cobre, hierro, manganeso y zinc en solución son atomizados en la

llama aire-acetileno, lo que permite que se absorba la radiación proveniente de una lámpara del mismo elemento en forma proporcional a la cantidad de átomos presentes. (Departamentos de suelo INIAP Santa Catalina).

Extractante. Olsen modificado.

Cuadro. 4. Métodos y Extractantes utilizados en la determinación física y química de los elementos extraídos del análisis químico suelos.

1) Parámetro	Método	Extractante
Textura	Densimétrico	Hidróxido de sodio 0.1 N
Ph	Potenciométrico	Agua
Al + H	Volumétrico	Cloruro de potasio 1 N
Conductividad Eléctrica (C. E.).	Conductimétrico	Pasta de saturación
Materia Orgánica (M. O. S.).	Volumétrico	Dicromato de potasio 1 N
Capacidad de Intercambio Catiónico (C. I. C)..	Físico-Químico	Acetato de amonio 1 N pH 7
Nitrógeno amoniacal	Fotocolorimétrico	Olsen modificado
Nitrógeno total (N. total).	Destilación	Ácido sulfúrico
Fósforo (P).	Fotocolorimétrico	Olsen modificado
Cationes Cambiables (K, Ca, Mg).	Espectrofotometría de absorción atómica	Olsen modificado
Microelementos (Cu, Zn, Mn y Fe).	Espectrofotometría de absorción atómica	Olsen modificado
Azufre (S).	Fotocolorimétrico	Fosfato ácido de calcio
Boro (B).	Fotocolorimétrico	Fosfato ácido de calcio
Sodio (Na).	Espectrofotometría de absorción atómica	Pasta de saturación
Cloro (Cl).	Volumétrico	Nitrato de mercurio

(Departamentos de suelo INIAP Santa Catalina).

2.9. VALOR ACTUAL NETO

Valor actual neto procede de la expresión inglesa *Net presentvalue*. El acrónimo es NPV en inglés y VAN en español. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir,

actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

V_t : representa los flujos de caja en cada periodo t .

I_0 : es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n : es el número de períodos considerado.

El tipo de interés es k . Si el proyecto no tiene riesgo, se tomará como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el VAN se estimará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico. (Brealey, 2006).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales y equipos

3.1.1. Localización del ensayo

La presente investigación se desarrolló en tres comunidades de la microcuenca del río Alumbre.

Cuadro.5. Ubicación política de los sitios experimentales

Ubicación	Bola de Oro	Guarumal	Panecillo
Provincia	Bolívar	Bolívar	Bolívar
Cantón	Chillanes	Chillanes	Chillanes
Parroquia	Matriz	Matriz	Matriz
Altitud (m).	1969 msnm	1854 m.s.n.m.	1900 m.s.n.m.
Latitud (X).	720303	720976	720740
Longitud (Y).	9787304	9787742	9787516
Agricultor	Vinicio Paguay	Margarita Lema	Luis Ilbay

Fuente: INIAP-SANREM CRSP. 2008 y datos tomados con GPS INIAP. 2009.

3.1.2. Características agroclimáticas

Cuadro.6. Características agroclimáticas de las comunidades

Características	Bola de Oro	Guarumal	Panecillo
Precipitación \bar{x} anual (mm).	1000 mm	1000 mm	1000 mm
Temperatura máxima (°C).	25°C	25°C	25°C
Temperatura mínima (°C).	11°C	11°C	11°C
Temperatura media anual (°C).	15°C	15°C	15°C
Humedad relativa (%).	94,9%	94,9%	94,9%
Velocidad de viento	44%	44%	44 %

Fuente: INIAP-SANREM CRSP. 2012.

3.1.3. Zona de vida

Las localidades en estudio de acuerdo con la clasificación de las zonas de vida, corresponde al Piso Premontano o Subtropical. (Holdridge y Cañadas. 1983)

3.1.4. Características edáficas

Cuadro. 7. Taxonomía de suelos en las comunidades en estudio

Clasificación	Bola de Oro	Panecillo	Guarumal
Orden	Molisoles	Molisoles	Molisoles
Suborden	Ustands	Ustands	Ustands
Gran grupo	Durustands	Durustands	Durustands
Subgrupo	LithicoHa.plustands	LithicoHa.plustands	LithicoHa.plustands

Fuente: Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. INIAP. 2007.

3.1.5. Material experimental

Tres lotes de 567 m² cada uno ubicados las comunidades: Bola de Oro, Guarumal y Panecillo; se utilizó la variedad de maíz duro INIAP-176, y en rotación con *Avena sativa* y *Vicia vellosa*.

3.1.6. Materiales de campo

Estacas, postes, grapas, piola, azadones, barras, palas, martillo, balanza de campo, balanza de precisión, libro de campo, bomba de mochila, cámara digital, letreros, barreno para densidad aparente, barreno para análisis de suelo, fundas plásticas, rollos de alambre de púa, rollos de manguera, aspersores, equipo de protección para plaguicidas, costales, nivel en “A”, penetrómetro, barreno, GPS, materiales de laboratorio y reactivos.

3.1.7. Materiales y equipos de oficina

Computadora, lápices, esferos, papel boom, libro de campo, borrador, marcadores, resaltadores, carpetas, calculadora, impresora, cuadernos, CDS y entre otros.

3.1.8. Insumos agrícolas

Fertilizantes químico (Urea), insecticidas (Cipermetrina y Lorsban) y herbicidas (Glifosato y Atrazina).

3.2. Métodos

3.2.1. Tratamientos en estudio

En la microcuenca del río Alumbre el sistema de producción prevalente corresponde. Sobre este sistema se evaluó los impactos de los sistemas de labranza (mínima y cero) cultivos de cobertura (avena-vicia) y el cultivo en rotación para este período maíz. En esta investigación se evaluaron cuatro tratamientos (Cuadro N.º 8).

Cuadro. 8. Tratamientos en estudio para la evaluación.

Trat.	Primer ciclo Nov 2010- Marzo 2011	Segundo ciclo Abril 2011- Agost 2011	Tercer ciclo Sept 2011-Dic 2011	Cuarto ciclo Mar 2012-Sept 2012
T1	Pasto natural con remoción	Frejol arbustivo con remoción	Pasto natural con remoción	Maíz duro con Labranza mínima, fertilización (N) y con remoción
T2	Pasto natural sin remoción	Frejol arbustivo sin remoción	Pasto natural sin remoción	Maíz duro con Labranza cero, sin remoción
T3	Avena-vicia, con remoción	Frejol arbustivo con remoción	Avena-vicia con remoción	Maíz duro con Labranza cero, con remoción
T4	Avena-vicia, sin remoción	Frejol arbustivo sin remoción	Avena-vicia sin remoción	Maíz duro con Labranza cero, sin remoción

Labranza mínima= Herbicida+ Surcado + Fertilización + Siembra manual + Deshierba

Labranza cero = Herbicida + Siembra con espeque + Herbicida a la Deshierba.

Con remoción = Corta la avena-vicia y alimenta los animales.

Sin remoción = Corta la avena-vicia y la deja en la superficie del suelo.

3.2.2. Características del área experimental

Número de repeticiones:	3
Número de tratamientos:	4
Número de unidades experimentales (parcelas)	12
Número de surcos por parcela total:	14
Número de surcos por parcela neta:	8

Número de sitios por surcos:	13
Número de sitios por parcela neta	9
Número de semillas por golpe:	3
Distancia entre surcos:	1,0 m
Distancia entre plantas:	0,50m
Área total por parcela: 6m x 15m:	90 m ²
Área neta por parcela: 4m x 11m:	44,00 m ²
Área total del experimento: 90m ² x 12 parcelas:	1080 m ²
Área neta total del experimento: 44m ² x 12 parcelas:	528 m ²
Área total del ensayo incluidos caminos: 643m ² x 3:	1938 m ²

3.2.3. Diseño experimental

Se aplicó el diseño de bloques completos al azar “DBCA”, con tres repeticiones por tratamiento, que estuvieron representadas por tres fincas o agricultores.

Cuadro. 9. Modelo matemático del ADEVA: DBCA.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	CME*
Bloques (r-1).	2	$f^2e + 4f^2e \text{ bloques}$
Tratamiento (t-1).	3	$f^2e + 3\theta^2 t$
Error Experimental (r-1). (t-1).	6	f^2e
Total (rxt-1).	11	

CME*: Cuadrados medios esperados modelo fijo tratamientos seleccionados por el investigador.

3.2.4. Análisis funcional

- Análisis de varianza. Prueba de Tukey al 5% para comparar promedios de tratamientos.
- Se realizó el Análisis de Presupuesto Parcial basado en la Tasa de Retorno Marginal (TRM). para ello, se tomó en consideración los costos que variaron en cada tratamiento y los rendimientos del cultivo de maíz duro.

3.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y DATOS TOMADOS

3.3.1. Análisis física del suelo (AFS).

- **Humedad gravimétrica (Hg).**

Se tomaron muestras del suelo al inicio y al final del experimento en cada parcela neta. Las muestras se tomaron a 25 cm de profundidad, mismas que se pesaron y se colocaron en la estufa a 105°C por 24 horas. La determinación de la humedad, se realizó con el método gravimétrico y se expresó en %, la siguiente fórmula:

Hg = (PSH - PSS / PSS) x 100. En donde:

Hg = Humedad gravimétrica (%).

PSH = Peso del suelo húmedo (g).

PSS = Peso del suelo seco (g).

- **Densidad aparente (Da).**

Al inicio y al final del experimento se determinaron la densidad aparente, para ello se tomaron muestras de suelo dentro de la parcela neta, con el barreno de volumen conocido (68.19 cm³). a 25 cm de profundidad. Estas muestras se llevaron al laboratorio para pesarlas en húmedo y se colocaron en la estufa a 105°C durante 24 horas para determinar el peso seco. Los datos se expresaron en g/cm³.

Da = Ms/Vt. En donde:

Da = Densidad aparente (g/cm³).

Ms = Masa de suelo seco a 105 °C (g).

Vt= Volumen total (cm³).

- **Compactación del suelo (Cs).**

Se evaluó la compactación del suelo al inicio y al final del experimento en cada

parcela neta. Las muestras se tomaron a 10; 20; 30; y 40 cm de profundidad del suelo. Esta variable se tomó con un Penetrómetro de lectura directa marca Farnell con el cual se tienen lecturas directas en kg fuerza/cm².

- **Precipitación (P).**

Utilizando un pluviómetro de cuña se evaluó la cantidad de lluvia caída después de cada semana, durante el ciclo del cultivo y fuera del ciclo, se expresó en mm.

3.3.2. Análisis químico del suelo (AQS).

Antes de la siembra y después de la cosecha de los cultivos en la rotación, en cada unidad experimental, se tomaron muestras de suelo de 1 kg aproximadamente, a 25 cm de profundidad. Para el análisis químico de suelos. Se evaluaron las siguientes variables: total de carbono y nitrógeno, fósforo disponible, nitrógeno disponible (NO_3^- y NH_4^+) nitrógeno potencialmente mineralizable.

3.3.2.1. Determinación del Nitrógeno Amoniacal. (DNA).

Método Fotocolorimétrico. Permite cuantificar el nitrógeno amoniacal disponible para las plantas en el suelo. El compuesto de azul indofenol, se obtiene en la reacción a pH alto del amonio e hipoclorito. El calcio y el magnesio se complejan con el nitrato para evitar interferencias. Como extractante se utilizó Olsen modificado (Bicarbonato de sodio + EDTA + Superfloc).

3.3.2.2. Determinación del Nitrógeno Total. (DNT).

Método de Destilación. Permite determinar el nitrógeno total en el suelo. El análisis de nitrógeno total se realiza a través de un proceso de digestión de la muestra utilizando ácido sulfúrico en presencia de catalizadores como el sulfato de potasio, sulfato de cobre y dióxido de selenio; en este proceso se produce anhídrido carbónico, agua, anhídrido sulfuroso y sulfato de amonio. Este último es

destilado y recogido en una solución de ácido bórico, para finalmente ser valorado con ácido sulfúrico utilizando una mezcla de indicadores de verde de bromocresol y rojo de metilo (D.S. INIAP S.C.). Como extractante se utilizó Ácido Sulfúrico.

3.3.2.3. Determinación de Fósforo. (DF).

Método Fotocolorimétrico. Permite que el fósforo disponible defina los grados de deficiencia, suficiencia o exceso de este elemento en relación con su disponibilidad para los cultivos. Se basa en la medición de la intensidad del color producido por el complejo azul de fosfomolibdato. Este complejo que es heteropoliácido se forma por la reacción del ión ortofosfato con el ión molibdato en medio ácido. El ácido ascórbico reduce parcialmente el complejo formado y genera el color azul. Como extractante se utiliza Olsen modificado.

3.3.3. Análisis biológicos de suelo (ABS).

Esta evaluación se realizó después de la cosecha en cada unidad experimental utilizando un cuadrante de 0.25 m², a una profundidad de 20cm en donde se observó y cuantificó la presencia de macroorganismos existentes en el suelo. Se expresó en número de macroorganismos por especie.

3.3.4. Análisis químico de la planta (AQP).

3.3.4.1. Total de Carbono y Nitrógeno (TCN).

Se tomaron dos plantas secas de cada parcela neta luego se molió hasta que las partículas tengan menos de dos mm de grosor, se tomaron submuestras de 50 gr. para realizar el análisis químico de macro y micro nutrientes. Con los resultados del análisis químico de nutrientes y con los de materia seca, se calculó la extracción de nutrientes, en la biomasa total, luego se calculó la extracción total del cultivo de maíz duro; los datos se reportaron en kg/ha.

3.3.5. VARIABLES AGRONÓMICAS

3.3.5.1. Porcentaje de emergencia en el campo (PEC).

Esta variable se determinó a los 15 días después de la siembra, dividiendo el número de plantas emergidas para el número de semillas sembradas y se multiplicó por cien y se expresó en porcentaje, encada parcela.

3.3.5.2. Número de plantas por parcela (NPP).

Para evaluar esta variable se eliminaron los bordes de 1 m a cada lado y 2 m en la parte superior e inferior, luego se contó directamente en cada parcela neta al momento de la cosecha.

3.3.5.3. Número de plantas acamadas por parcela (NPAP).

Para determinar esta variable se eliminaron los bordes de 1 m a cada lado y 2 m en la parte superior e inferior, luego se contó directamente en cada parcela neta al momento de la cosecha., y se expresó en porcentaje.

3.3.5.4. Peso de mazorca por parcela (PMP).

Una vez cosechada todas las plantas de maíz duro, de cada parcela neta, se pesaron en una balanza y se los expresó el resultado en Kg/parcela.

3.3.5.5. Rendimiento en Kg/ha. (RH).

Para estimar el rendimiento de maíz duro en Kg/ha se aplicó la siguiente fórmula:

$$R = PCP \times \frac{10000 \text{ m}^2/\text{Ha.}}{\text{ANC m}^2/1} \times \frac{100\text{-HC}}{100\text{-HE}} \text{ donde:}$$

R=Rendimiento en Kg/ha. al 14% de Humedad

PCP= Peso de Campo por Parcela en Kg

ANC= Área Neta Cosechada en m²

HC = Humedad de Cosecha. (%).

HE = Humedad Estándar (14%).

(Monar, C. 2000).

3.3.5.7. Clasificación de maíz (CM).

Se realizaron después de la cosecha, donde se clasificó en dos categorías principales: grano para la semilla y grano comercial; y se expresó en porcentaje.

3.3.5.8. Profundidad radicular (PR).

En la etapa de floración en dos plantas al azar y en cada tratamiento se evaluaron la profundidad radicular del maíz, con un Hectómetro en cm.

3.3.6. Evaluación de avena-vicia

3.3.6.1. Rendimiento de materia verde en forraje

Para determinar esta variable, cuando la mezcla forrajera se encuentre en inicio de floración, se tomaron con un cuadrante de 0.25 m², y se pesaron dos muestras por parcela neta, para estimar el rendimiento en kg/ha de materia verde. Estas muestras se llevaron al Laboratorio del INIAP S. C., para determinar el contenido de materia seca.

3.3.6.2. Profundidad radicular

Al inicio de la floración se evaluaron en dos plantas al azar la profundidad radicular de avena-vicia con un Hectómetro en cm.

3.3.7. Manejo del Experimento

3.3.7.1. Análisis del Suelo

Para cada localidad en estudio, se realizó el análisis físico-químico del suelo, para la determinación de macro y micronutrientes, MO conductividad eléctrica, pH, capacidad de intercambio catiónico y textura; dos meses antes de la siembra, con el fin de realizar la recomendación de la fertilización orgánica e inorgánica.

3.3.7.2. Preparación del Terreno

Para la preparación del terreno se aplicó herbicida con glifosato 15 días antes de la siembra en dosis de 250cc/20 litros de agua.

3.3.7.3. Surcado y Hoyado

Se hizo el surcado en forma manual, utilizando un azadón pequeño en lo que es labranza mínima y en labranza cero el hoyado con la ayuda de un espeque, a una distancia de 1 m entre surcos y 0,50 m entre sitios en el momento de la siembra.

3.3.7.4. Siembra

La siembra se realizó en forma manual depositando 3 semillas de maíz duro por sitio en una dosis de 25 Kg/ha a una profundidad de 5 a 8 cm.

3.3.7.5. Labores Culturales

Se realizó rascadillo en forma manual a los 45 días después de la siembra.

3.3.7.6. Fertilización

La fertilización se realizó en base al análisis químico del suelo, se aplicó en forma

fraccionada el 50% a la siembra y otro 50% a los 45 días después de la siembra, que se incorporó en dosis de 75 Kg/ha, de Nitrógeno.

3.3.7.7. Control de Malezas

Para el control de malezas se aplicó herbicida selectivo a base de Atrazina a los 30 días después de la siembra en labranza cero, sobre suelo húmedo. En labranza mínima, se realizó la deshierba en forma manual con la ayuda de azadón a los 25 días después de la siembra.

3.3.7.8. Control de Plagas

Para el control de *Spodoptera frugiperda* y *Heliothis zea*, únicamente se aplicó el insecticida Clorpirifos en dosis de 40 cc/20 litros de agua con una bomba a motor. Este control se realizó a los 15 días después de la siembra.

3.3.7.9. Cosecha

La cosecha en mazorca se efectuó cuando el grano estuvo en madurez fisiológica (cuando en la base del grano se observó una capa café) y para grano comercial se puede esperar entre 20 a 30 días más en el campo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variables agronómicas

4.1.1. Variables agronómicas de avena-vicia y pasto natural

Cuadro.10. Resultados de ADEVA de las variables agronómicas y Nitrógeno Total de pasto natural y Avena-vicia. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		Materia Fresca en Tm/ha	Materia Seca en Tm/ha	Kg/N/ha	Kg/C/ha
Repetición	2	171.1 ^{NS}	1.8 ^{NS}	1638.1 ^{NS}	1131011 ^{NS}
Tratamientos	3	20.8 ^{NS}	0.1 ^{NS}	189.3 ^{NS}	16920 ^{NS}
Error Exp.	6	47,4	0,6	859,2	484734,0
Total	11				
Media		19,9	3,5	84,8	1891,9
CV (%)		34,6	22,1	34,5	36,8
ns no significativo, *significativo al 5%, **significativo al 1%					

4.1.1.1. Rendimiento de biomasa de pasto natural y avena-vicia

Es importante comenzar los primeros años con prácticas de Agricultura de Conservación con cultivos de cobertura que dejen una gran cantidad de residuos sobre la superficie del suelo y que se descompongan lentamente (debido a su alta relación C/N). El pasto natural y avena-vicia son los más apropiados para esta práctica de cultivo, debido a su agresivo y abundante sistema de raíces que requieren un corto tiempo para mejorar el suelo ya que adicionalmente existe al aporte de nitrógeno por parte de la vicia. Más adelante, cuando el sistema está estabilizado será posible incluir cultivos de cobertura con una función de doble propósito; para alimento de ganado y como cobertura. (Pelá, *et. al.*1999).

La siembra directa de cultivos de cobertura (CC) proveen elevadas cantidades y tipos de residuos orgánicos al suelo, donde la composición bioquímica de cada residuo, en la relación C/N, Celulosa, Hemicelulosa y Lignina, asumen un papel

relevante frente a la dinámica del nitrógeno (N) y el carbono (C) en el suelo y su disponibilidad para el cultivo siguiente. Los cultivos de cobertura contribuyen a la protección de la superficie del suelo y, por lo tanto, al mantenimiento y/o mejoramiento de sus características físicas, químicas y biológicas, incluyendo la adaptación de la profundidad efectiva del suelo por medio de las raíces. La descomposición de los residuos de cultivos aportados por el suelo es realizada, esencialmente, por los microorganismos heterotróficos que utilizan elementos para su nutrición y carbono necesario para la producción de energía y formación de tejidos microbianos. Entre tanto, factores abióticos y bióticos determinan la velocidad del proceso de descomposición y definen la persistencia de estos residuos en la superficie del suelo, dependiendo de su naturaleza (composición química, relación C/N), de su volumen, de la fertilidad del suelo, del manejo de la cobertura y de las condiciones climáticas, principalmente precipitaciones y temperaturas (Alvarenga, et. al. 2007).

Al realizar el análisis de varianza Cuadro 10, se puede observar que no existen diferencias estadísticas significativas para el rendimiento de biomasa. Sin embargo podemos mencionar que existen rendimientos diferentes en cada tratamiento. Así, en el tratamiento T4: tenemos la mayor producción con 23,7 Tm/ha seguido del tratamiento T3: con 19,7 Tm/ha, en tercer lugar el tratamiento T1: con 18,7 Tm/ha, y por último el tratamiento T2: con 17,7 Tm/ha. Tal como muestra el Gráfico N^o 1. La diferencia entre el T4 y el T2: se debe a que el T4: la siembra se realizó con avena-vicia, y el T1: se dejó con pasto natural.

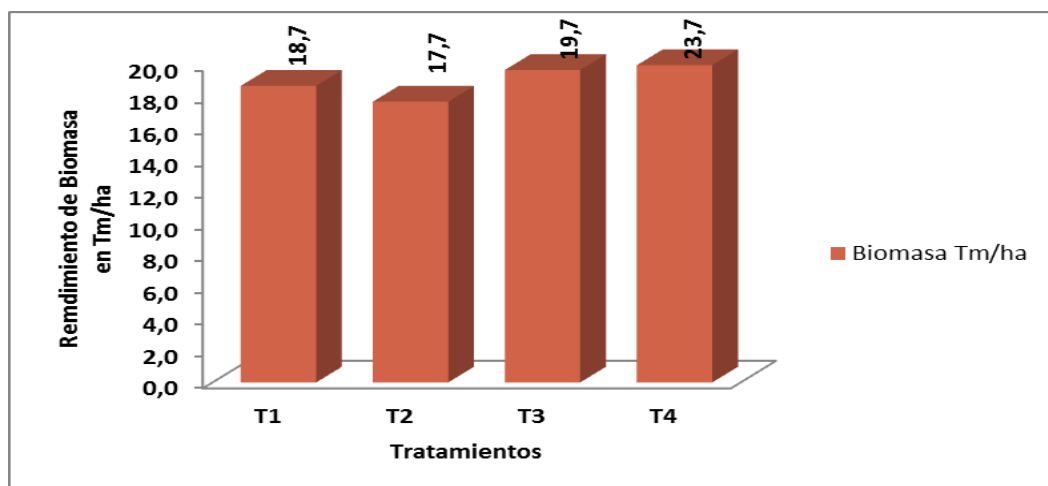


Gráfico. 1. Rendimiento de biomasa de pasto natural y avena-vicia en Tm/ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.

4.1.1.2. Rendimiento de la materia seca de pasto natural y avena-vicia

En el Cuadro. 10, se observa el análisis de varianza resumida para la variable rendimiento de la materia seca de pasto natural y avena-vicia en Tm/ha el cual reporta diferencias estadísticas no significativas entre los tratamientos en estudio. El promedio general para esta variable fue de 3.5 Tm/ha, y un coeficiente de variación de 22.1%.

Así el tratamiento T1: fue 3.6 Tm/ha, tratamiento T2: fue 3.3 Tm/ha, tratamiento T3: fue 3.6 Tm/ha, y el tratamiento T4: fue 3.8 Tm/ha en el Gráfico N^o 2. Vemos que los rendimientos de la materia seca de pasto natural y de avena-vicia tiene una relación recíproca en cuanto al rendimiento de biomasa

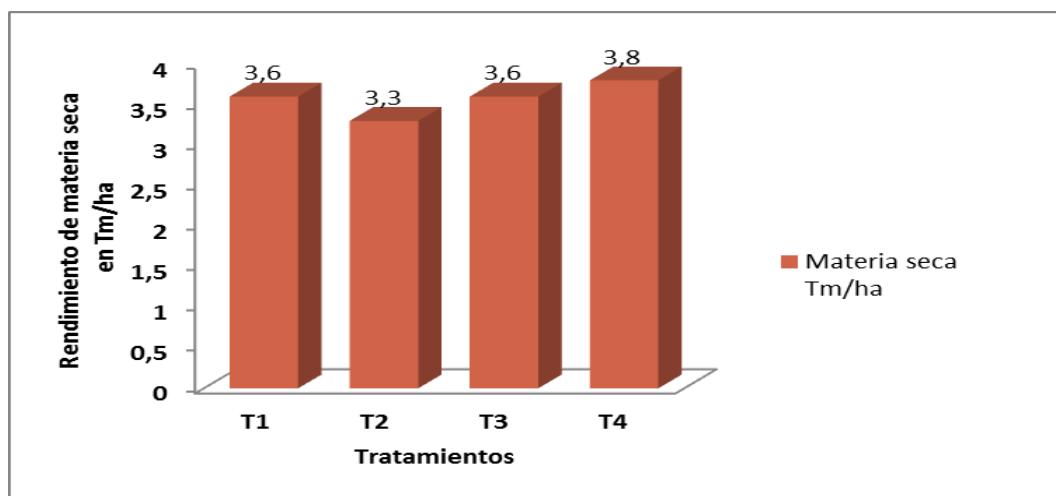


Gráfico. 2. Rendimiento de la materia seca de pasto natural y avena-vicia en Tm/ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.

4.1.1.3. Concentración de Nitrógeno Total en el tejido vegetal de pasto natural y avena-vicia.

Al realizar el análisis de varianza (Cuadro 10), se puede observar que no existen

diferencias estadísticas significativas para el rendimiento de materia seca. Sin embargo podemos mencionar numéricamente que existen cantidades diferentes de materia seca entre los tratamientos. La mayor cantidad de materia seca tenemos en el tratamiento T4: con 3,8 Tm/ha, y la menor cantidad de materia seca corresponde al T2: con 3,3 Tm/ha. (Gráfico N^o 2).

El cultivo de cobertura además de aportar una considerable cantidad de N produce un incremento de rendimiento que ha sido denominado "efecto de rotación". Las causas de este efecto se atribuyen a la conservación del agua, control de malezas, mejora en propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y reducción de la presión de patógenos.

En esta investigación se calcularon valores altos del CV en las variables agronómicas rendimiento de la biomasa y materia seca, son variables que tienen una fuerte interacción con el medio ambiente. Sin embargo cabe señalar tipos de pastos naturales y avena-vicia. La alta precipitación que incidió directamente en el desarrollo vegetativo de avena-vicia, por ende en el rendimiento de biomasa y la materia seca, que no estuvieron bajo el control del investigador.

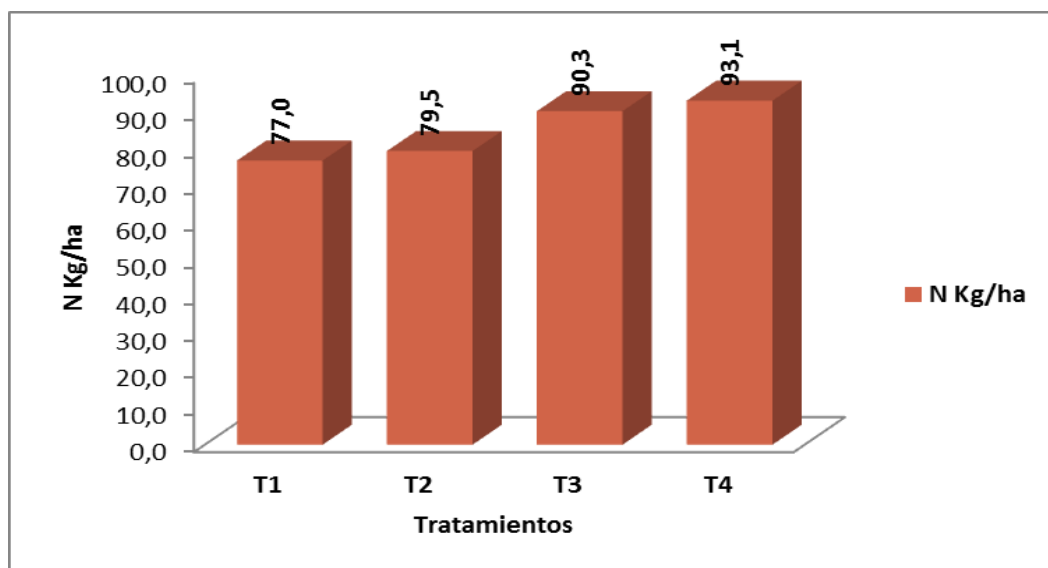


Gráfico 3. Concentración de NT en Kg/ha en el tejido vegetal de pasto natural y avena-vicia. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.

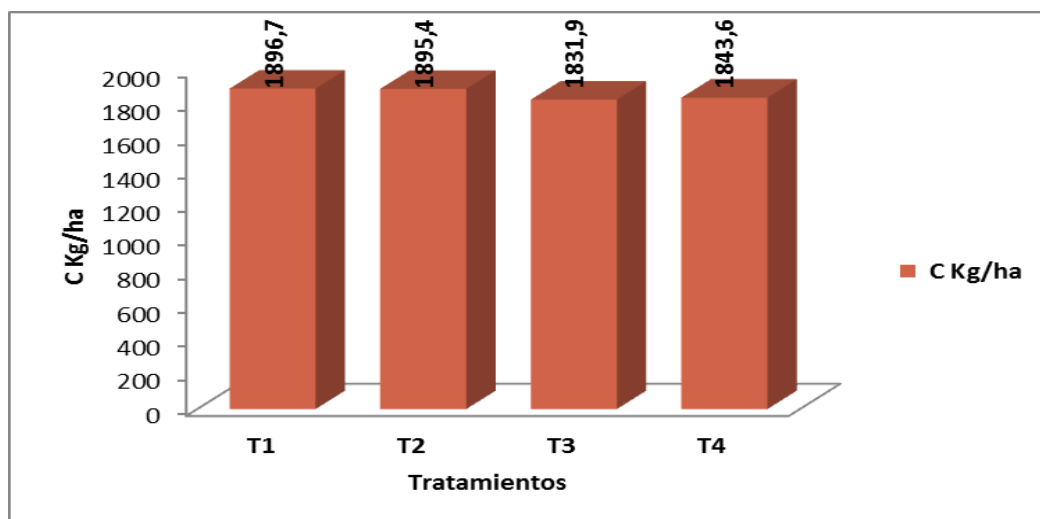


Gráfico. 4. Concentración de C en Kg/ha en el tejido vegetal de pasto natural y avena-vicia. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.

4.1.2. Variables agronómicas del cultivo de maíz duro INIAP-176

Cuadro. 11. Resultados de ADEVA de las variables agronómicas del cultivo de maíz duro INIAP-176. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		PE %	PRM/(cm)	NPA/ha	MSM en Tm/ha	MST en Tm/ha	RMH en Tm/ha
Repetición	2	21.3 ^{ns}	5.6 ^{ns}	5033.3 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0.3 ^{ns}
Tratamientos	3	38.8*	42.6 ^{ns}	9011.1 ^{ns}	0.4 ^{ns}	0.2 ^{ns}	0.9**
Error Exp.	6	6	23,5	2944,4	0,5	0,1	0,3
Total	11						
Media		96	89,7	538	4,3	0,8	4,4
CV (%)		2,6	5,4	10,1	15,6	9,6	2,6

ns no significativo, *significativo al 5%, **significativo al 1%

4.1.2.1. Porcentaje de emergencia (PE).

De acuerdo al análisis de varianza para el variable (PE) en el (Cuadro No. 11) presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en estudio, el promedio general para esta variable fue de 96% y un coeficiente de variación de 2,56%. El promedio más alto PE se registró, en el tratamiento T2: labranza cero, pasto natural, sin remoción fue 98% de emergencia, es decir el suelo estuvo

protegido por las coberturas vegetales, lo que ayudó a mantener la humedad. El menor porcentaje el tratamiento T1: labranza mínima, pasto natural, con remoción fue 90% de emergencia, quizá se debió por el efecto de la labranza mínima; pasto natural con remoción, de cobertura vegetal ya que el suelo quedó suelto y desprotegido lo que incidió en el daño de aves silvestres a las semillas y plántulas en proceso de emergencia.

4.1.2.2. Profundidad radicular de maíz duro INIAP-176 (PRM).

En el Cuadro N^o 11, de acuerdo al análisis de varianza para la variable (PRM) el cual reporta diferencias estadísticas no significativas entre los tratamientos en estudio. El promedio general para esta variable fue de 89.7 cm y un coeficiente de variación de 2.56 %.

Según los resultados obtenidos se puede apreciar en el Gráfico N^o 5, la profundidad radicular de los tratamientos. Así T1: labranza mínima, pasto natural con remoción 91.6 cm. T2: labranza cero, pasto natural sin remoción 87 cm. T3: labranza cero, avena-vicia con remoción 86.2 cm. y T4: labranza cero, avena-vicia con remoción 94.1 cm. respectivamente. Las profundidades radiculares son similares en todos los tratamientos es decir no hay efecto principal de las labranzas ni de las remociones de las coberturas para el desarrollo del sistema radicular de maíz duro INIAP-176, quizá porque la profundidad radicular depende de otros factores como la física, química del suelo, el clima y varietal.

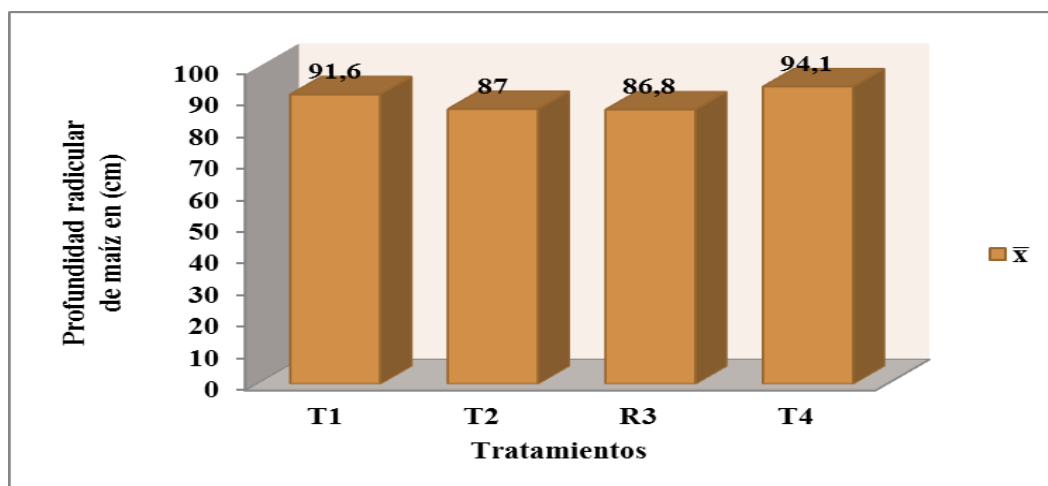


Gráfico. 5. Profundidad radicular de maíz duro INIAP-176 en cm. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

4.1.2.3. Plantas acamadas (PA).

En el Cuadro N^o 11, de acuerdo al análisis de la varianza para PA presentó diferencias estadísticas no significativas entre los tratamientos en estudio, el promedio general para esta variable fue de 538 plantas acamadas por hectárea y un coeficiente de variación de 10,1%. De acuerdo a la evaluación de las plantas acamadas por tratamientos en el Gráfico N^o 6, no incidieron significativamente en este variable porque la misma es una característica varietal y depende de su interacción genotipo ambiental. Los resultado obtenidos en porcentaje de acame de plantas, son inferiores al 1%, lo que demuestra que esta variedad resistente al acame de la planta.

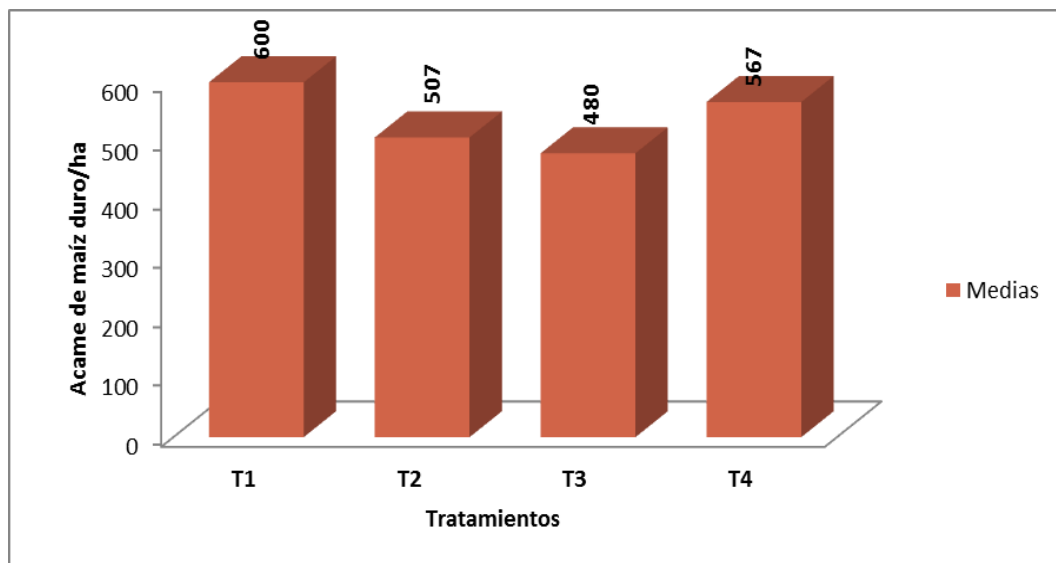


Gráfico. 6. Número de plantas acamadas de maíz duro INIAP-176 por ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

4.1.2.4. Materia seca de la planta de maíz duro INIAP-176 (MSPM).

En el Cuadro N^o 11, de acuerdo al análisis de la varianza para el MSPM presentó diferencias estadísticas no significativas entre los tratamientos en estudio. El

promedio general para esta variable fue de 4.32 Tm/ha. y un coeficiente de variación de 15.6 %. La respuesta de la evaluación de la materia seca de la planta de maíz duro, presentó similar entre los tratamientos: (T1, T2, T3 y T4), es decir para esta variable no se presentó el efecto de sistemas de labranza ni rotación de cultivos en el Gráfico N^o 7.

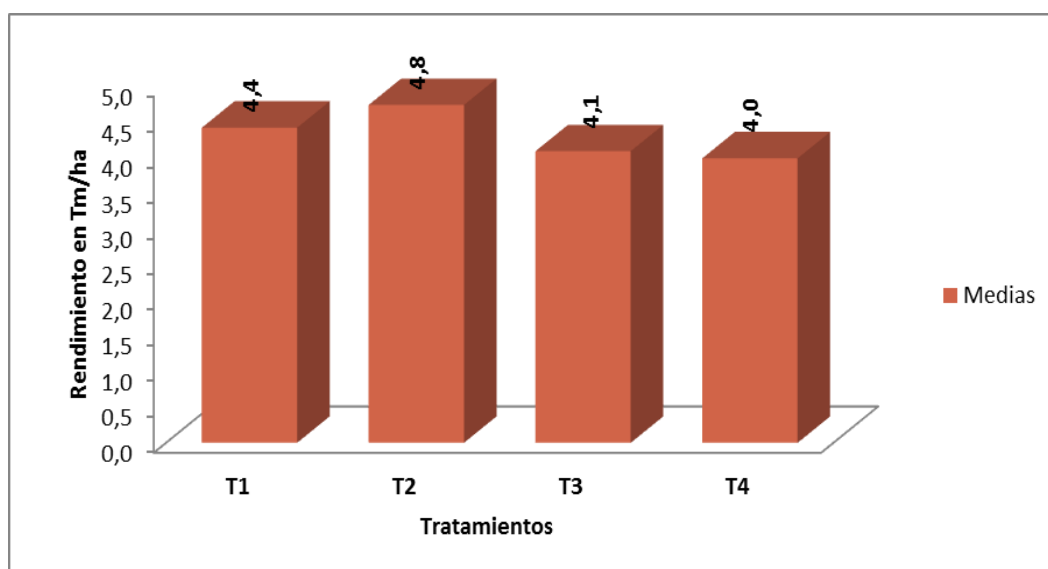


Gráfico.7. Rendimiento de la materia seca de la planta de maíz duro en Tm/ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

4.1.2.5. Rendimiento de la tusa seca de maíz duro INIAP-176 (RTSM).

En el Cuadro. 11, de acuerdo al análisis de la varianza para el RMSTM presentó diferencias estadísticas no significativas entre los tratamientos en estudio. El promedio general para esta variable fue de 0.84 Tm/ha lo que significa un 16% del contenido total de materia seca. Se calculó un valor coeficiente de variación de 9.6 %, lo que indica poco variabilidad de los tratamientos y resultados en esta variable.

La respuesta de los tratamientos a la evaluación de la materia seca de la tusa de maíz se puede observar en el Gráfico N^o 8, se presentó similar entre los tratamientos:

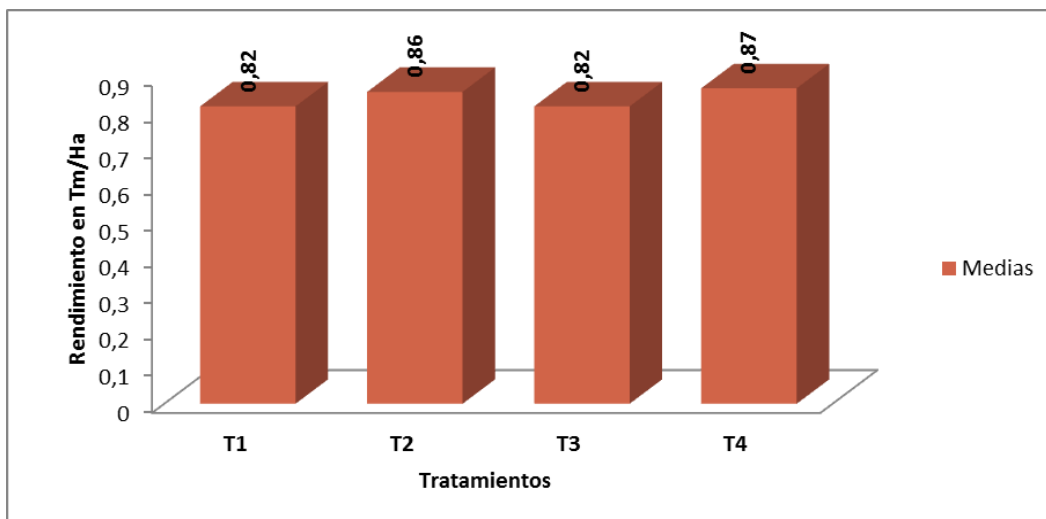


Gráfico. 8. Rendimiento de la tusa de maíz duro INIAP-176 en Tm/ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

4.1.2.6. Rendimiento de maíz duro en Tm/ha.

En el Cuadro N^o 11, se observa el análisis de varianza para el variable rendimiento en Tm/ha de maíz duro INIAP-176 en la cual reporta diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamiento en estudio. El promedio general para esta variable fue de 4.27 Tm/ha y un coeficiente de variación de 2.6%.

En el Gráfico N^o 9, la respuesta de los tratamientos de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % fue muy distante. El T1: labranza mínima, pasto natural, con remoción y con 75 Kg/N/ha es el que presentó el mejor rendimiento 4,71 Tm/ha seguidamente el T4: labranza cero, avena-vicia sin remoción con 4.50 Tm/ha, T2: labranza cero, pasto natural, sin remoción con 3.96 Tm/ha mientras que el T3: corresponde a labranza cero, avena-vicia con remoción presente el menor rendimiento 3,89 Tm/ha lo que significa que tuvieron diferentes comportamientos respectó al N. La respuesta y la necesidad del N es un elemento nutricional clave para obtener una mayor eficiencia agronómica y química del cultivo de maíz. La importancia del N para el cultivo de maíz por su contribución al balance nutricional, desarrollo y crecimiento de la planta por lo tanto un incremento en el rendimiento de maíz duro INIAP-176. El maíz presenta una alta respuesta a la fertilización nitrogenada por lo tanto el T1: que es lo que comúnmente hace el

productor tiene un alto rendimiento. Sin embargo podemos ver que el T4 que no se aplicó N adicional, presenta rendimientos ligeramente menor al T1: mientras los tratamientos: (T2 y T3) presentan una variabilidad en cuanto al rendimiento, por lo que podemos decir que las remociones y no remociones de los residuos de ciclo anterior y los rotaciones están influyendo en el rendimiento.

El efecto de rotaciones de cultivos, fueron muy importantes en el sistema de producción. Una alternativa más real y económicamente más correcta es comparar el rendimiento de maíz en ambos sistemas a la dosis económicamente óptima de N. En este caso, no sólo se observa una reducción de la dosis de fertilizante nitrogenado para alcanzar el rendimiento económicamente óptimo (valor económico de reemplazo de fertilizante), sino que además en muchos casos las leguminosas incrementan el rendimiento potencial del maíz.

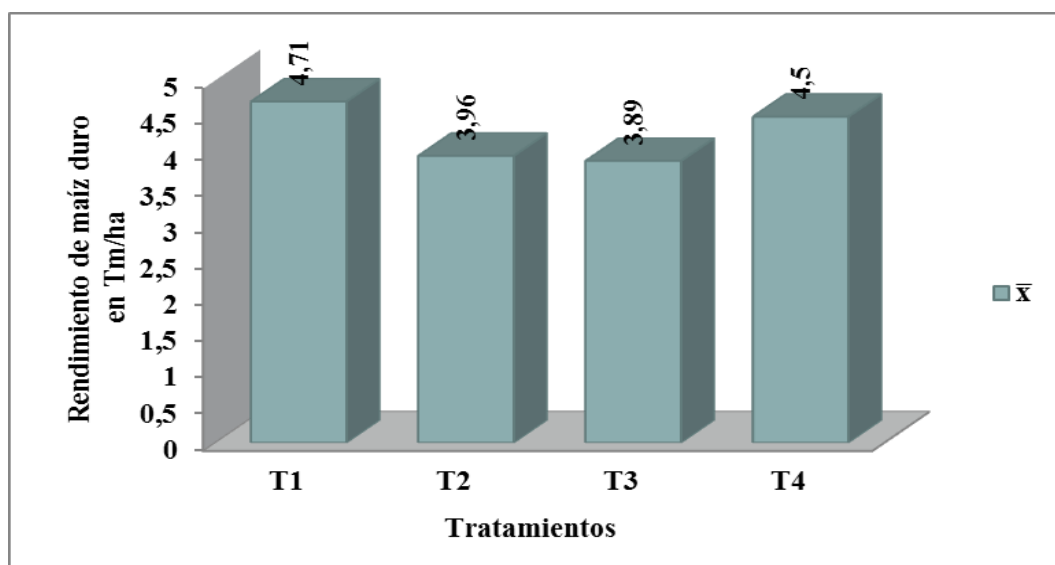


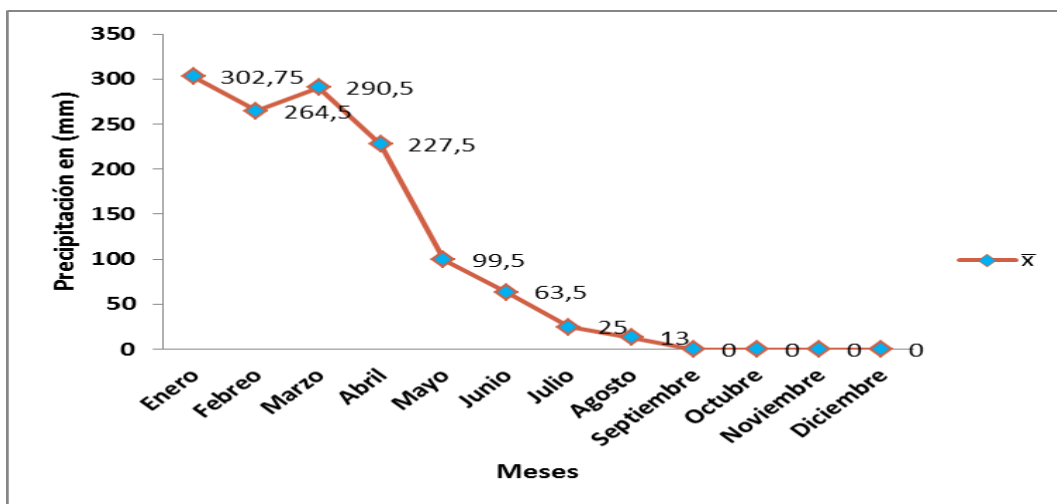
Gráfico. 9. Rendimiento del maíz duro INIAP-176 en Tm/ha. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

4.2. VOLUMEN DE AGUA (Va).

La cantidad de precipitación total en el año 2012 registró 1266,25 mm. Durante el ciclo del cultivo de maíz duro variedad INIAP-176, la precipitación fue de 719 mm. En el Gráfico N.º 10, se puede apreciar los meses con mayor precipitación que fueron de enero hasta abril, los cuales coincidieron con el desarrollo

vegetativo de la planta. De acuerdo a los datos históricos indican que el 80% de las precipitaciones se presentan en los primeros cuatro meses del año y la cantidad precipitada para esta zona es normal. La cantidad de agua precipitada durante el ciclo del cultivo fue normal la cual fue beneficioso para el desarrollo vegetativo y reproductivo de maíz duro, tomando en consideración que los requerimientos necesarios de agua normales para el desarrollo de maíz es alrededor de 750 mm., en el ciclo vegetativo de la planta. (Aldrich, S.R. 2000).

La intensidad de la lluvia en la microcuenca del río Alumbre se extiende a lo largo del día por lo que se disminuye la posibilidad de escurrimiento a través de la pendiente y más bien el agua que cae es infiltrada al suelo a la capas inferiores; sin embargo hay eventos por efecto del cambio climático, llueve hasta 78 mm en menos de una hora. (INIAP. 2008).



Ciclo del cultivo de maíz duro del 15 de marzo al 27 de septiembre.

Gráfico. 10. Volumen de agua registrada mensualmente en (mm) durante ciclo del cultivo de maíz duro INIAP-176. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

4.3. VARIABLES FÍSICAS DEL SUELO

Cuadro. 12. Análisis de varianza para las variables Físicas del suelo: Compactación, Densidad aparente y Humedad gravimétrica, evaluadas a una profundidad de 25 cm al inicio y al final del ciclo de cultivo de maíz duro INIAP-176. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		0-25 cm Da	0-25 cm Hg	Compactación del suelo antes de la siembra de maíz			
				0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Repetición	2	0.1 ^{ns}	190.3 ^{ns}	3733.3 ^{ns}	731.3 ^{ns}	8827.1 ^{ns}	28543.8 ^{ns}
Tratamientos	3	0.2 ^{ns}	3.7 ^{ns}	250 ^{ns}	746.5*	2380.6 ^{ns}	8747.2 ^{ns}
Error Exp.	6	0,0	44,4	391,7	150,7	1999,3	1882,6
Total	11						
Media		0,8	64,7	128,3	153,8	190,8	222,5
CV (%)		5,5	10,3	15,4	8,0	23,4	19,5

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		0-25 cm Da	0-25 cm Hg	Compactación del suelo después de la cosecha			
				0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Repetición	2	0.1 ^{ns}	118.7 ^{ns}	30558.3 ^{ns}	4825 ^{ns}	31608.3 ^{ns}	17152.1 ^{ns}
Tratamientos	3	0.1 ^{ns}	19.1 ^{ns}	3318.8 ^{ns}	9672.2 ^{ns}	23605.6 ^{ns}	6316.7 ^{ns}
Error Exp.	6	0,0	57,5	5558,3	8988,9	7063,9	14868,8
Total	11						
Media		0,7	61,9	312,1	315,0	351,7	288,3
CV (%)		6,0	12,3	23,9	30,1	23,9	42,3

ns no significativo, *significativo al 5%, **significativo al 1%

4.3.1. Densidad aparente (Da).

En el Cuadro N^o 12, se observa el análisis de varianza resultados para la variable (Da) de 0 a 25 cm en la cual reporta diferencias estadísticas no significativas entre los tratamiento en estudio. El promedio general para esta variable fue de 0.75 g/cm³, y un coeficiente de variación de 2.6% antes de la siembra y después de la cosecha el promedio general fue de 0.74 g/cm³ y un coeficiente de variación de 5,59%. Estos resultados son similares y no existió cambios en la (Da) por efecto de los tratamientos. Se puede observar en el Grafico N^o 11. La (Da) del suelo es un indicador de ciertas características importantes del suelo, a saber: porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración. En un tipo de suelo los valores bajos de densidad aparente implican suelos porosos, bien aireados con buen drenaje y buena penetración de raíces, todo lo cual significa un buen crecimiento y desarrollo de las plantas. Por otro lado, si los valores son altos, quiere decir que el suelo es compacto o poco poroso, que tiene mala aireación, que la infiltración del agua es lenta, lo cual dificultades el desarrollo de sistema radicular de la planta. (Donoso. 1992).

La (Da) es un comportamiento físico muy importante porque está relacionado con manejo, eficiencia agronómica y química de los nutrientes y las características físicas de suelo, se modifican a mediano y largo plazo. (PlaSentis, I. 1994).

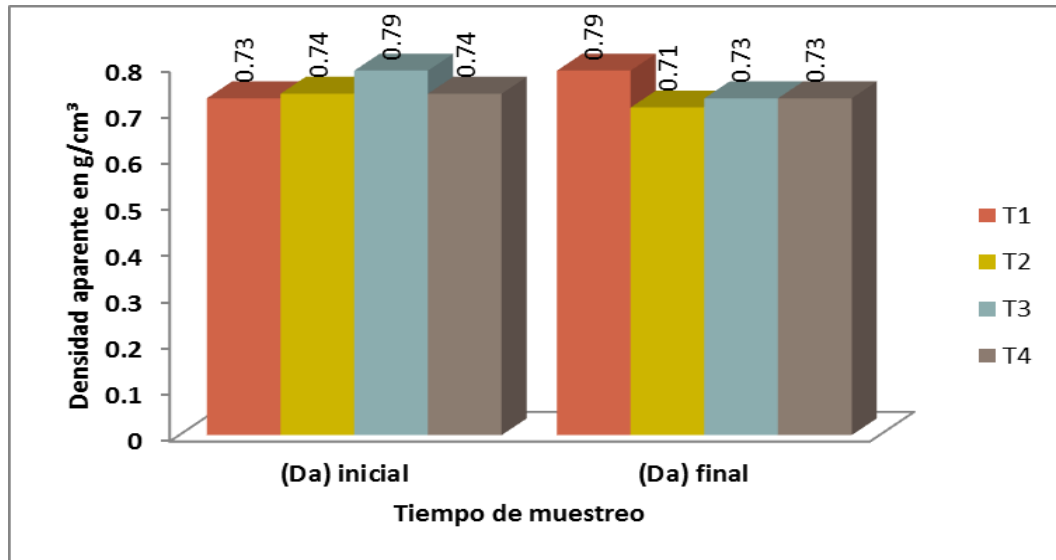


Gráfico. 11. Resultado de la Densidad aparente en gr/cm^3 por tratamientos en estudio. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.

4.3.2. Humedad gravimétrica (Hg).

En el Cuadro N^o 12, se observa el análisis de varianza resumido para la variable (Hg) en la cual reporta diferencias estadísticas no significativas entre los tratamientos en estudio, a una profundidad de 0 a 25 cm del suelo. El promedio general para esta variable fue de 64.73 %, y un coeficiente de variación de 10.29 % antes de la siembra y después de la cosecha el promedio general fue de 61.88 % y un coeficiente de variación de 12.25 %.

La respuesta de los tratamientos a la (Hg) se puede observar en el Gráfico 12, los valores que se reportan para la (Hg) presentan numéricamente diferencias entre los tratamientos, siendo el tratamiento T1: labranza mínima pasto natural con remoción que se presentó un porcentaje más alto con respecto a los demás tratamientos que corresponde a labranza cero que son similares entre sí. Al hacer la comparación entre los tratamientos de la (Hg) evaluadas al inicio de la siembra

de maíz duro INIAP-176 y al final de la cosecha existe una disminución en los valores respecto en los tratamientos. Esto indica que la (Hg) está directamente relacionada con la precipitación, así los tres primeros meses son de alta precipitación, por lo tanto muestran los valores altos al inicio de la siembra al comparar con los valores finales después de la cosecha. Gráfico N_o 12

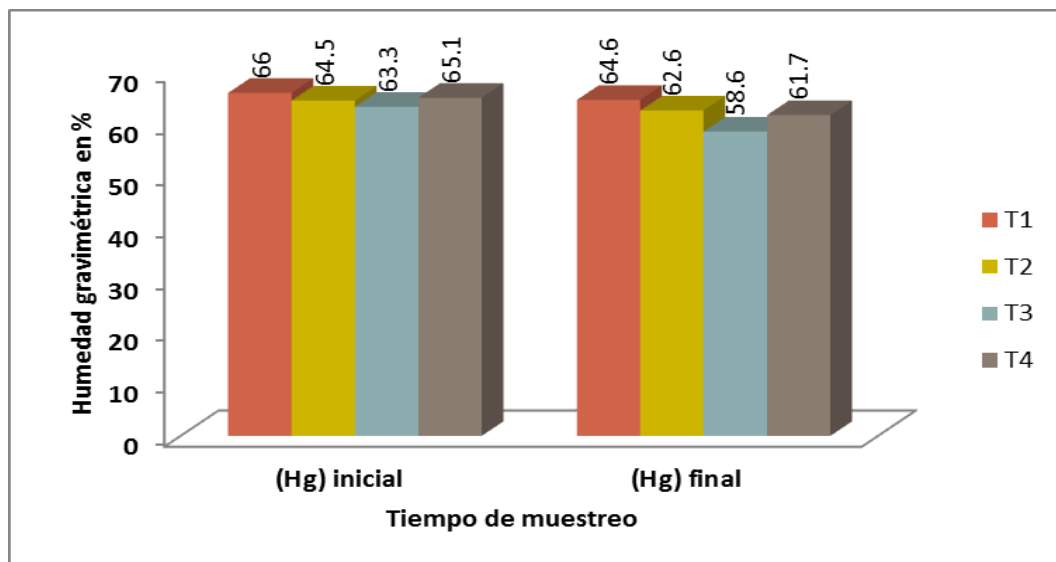


Gráfico. 12. Resultado de la Humedad gravimétrica en % por tratamientos en estudio. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

4.3.3. Compactación del suelo (C).

En el Cuadro N_o 12, se observa el análisis de varianza para el variable (C) en la cual reporta diferencias estadísticas no significativas entre los tratamiento en estudio. Únicamente presentó diferencias significativas a una profundidad de 11-20 cm antes de la siembra de maíz duro INIAP-176. Quizá esta diferencia significativa insidio por la estructura y tipo del suelo así en los primeros meses de invierno que mantuvo mucha humedad del suelo, y la compactación fue menor especialmente en las profundidades de 0-30 cm. en el Gráfico N_o 13. La compactación de suelo está relacionada con las características físicas del suelo (textura, tipo y estabilidad de la estructura, densidad aparente, la actividad biológica, rotación de cultivos y los sistemas de labranzas que influyen en la compactación de suelo. (Ortíz, R. 2008).

La respuesta de la compactación de suelo en el Gráfico N^o 13, al final de la cosecha presentó un incremento ligero de la compactación en comparación con el análisis inicial de la compactación del suelo. Este incremento explica que a medida que se va reduciendo la precipitación, se pierden las porosidades del suelo y las partículas se cierran, incidiendo en una mayor compactación.

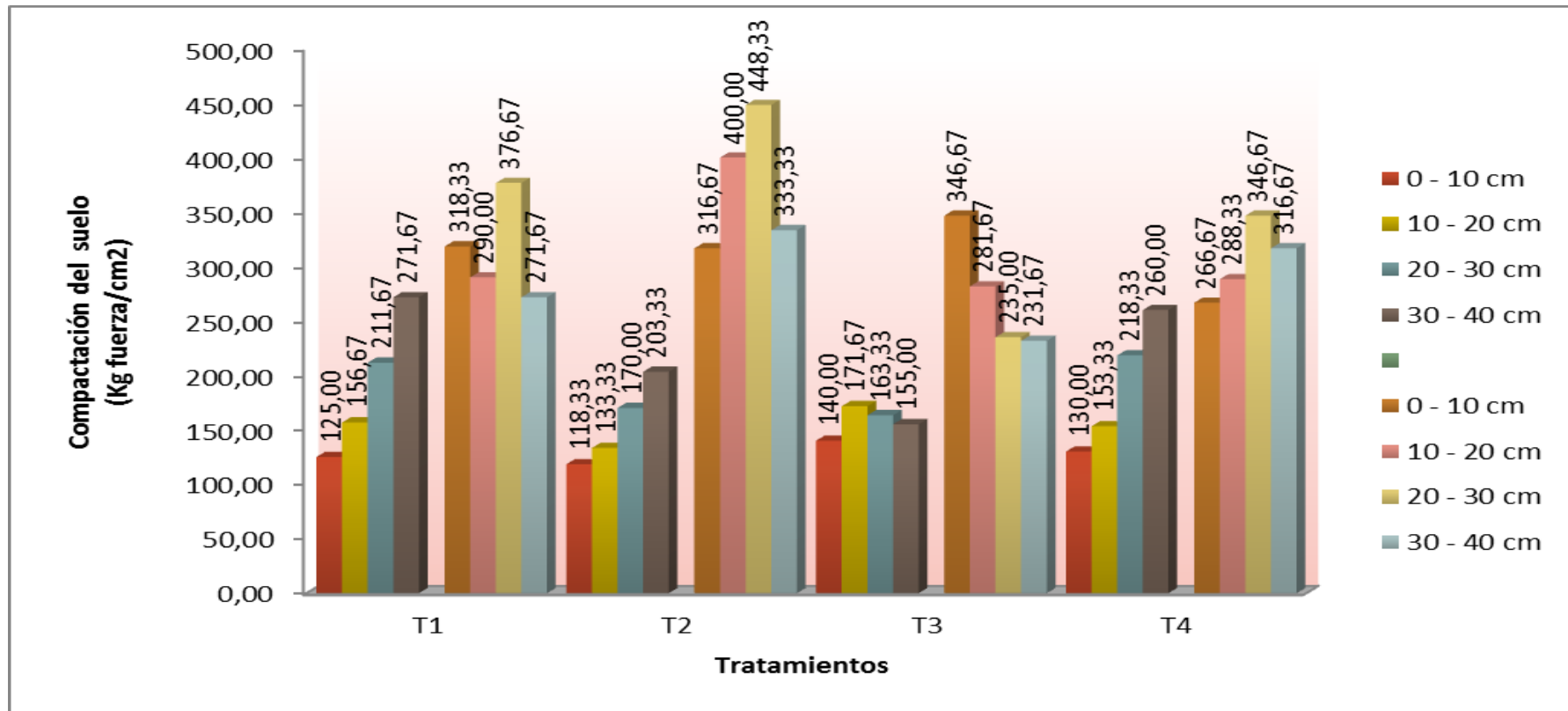


Gráfico. 13. Resultado de la Compactación del suelo en Kg fuerza/cm² por tratamientos. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.

4.4. VARIABLES QUÍMICAS DEL SUELO

Cuadro. 13. Análisis de varianza para las variables Químicas del suelo, evaluadas en tres periodos durante el ciclo del cultivo de maíz duro INIAP-176. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		Análisis química del suelo antes de la siembra de maíz					
		NT/Kg/ha	COT/Kg/ha	N-NO ₃ -/Kg/ha	N-NH ₄ ⁺ /Kg/ha	NPM/Kg/ha	H:%
Repetición	2	52.9 ^{ns}	4.8 ^{**}	423.8 ^{ns}	93.5 ^{ns}	249.5 ^{ns}	92.5 ^{ns}
Tratamientos	3	512.7 [*]	57.1 ^{ns}	128.3 ^{ns}	5.3 ^{ns}	568.9 ^{ns}	5.5 ^{ns}
Error Exp.	6	61,5	952,8	116,9	153,8	169,3	17,5
Total	11						
Media		64,6	630,8	62,0	59,2	40,0	64,4
CV (%)		12,1	4,9	17,4	20,9	32,5	6,5
ns no significativo, *significativo al 5%, **significativo al 1%							
Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		Análisis química del suelo a los 160 días después de la siembra de maíz					
		NT/Kg/ha	COT/Kg/ha	N-NO ₃ -/Kg/ha	N-NH ₄ ⁺ /Kg/ha	NPM/Kg/ha	H:%
Repetición	2	437.5 ^{**}	36100 ^{**}	359.6 ^{ns}	4.1 ^{ns}	1154.8 ^{ns}	257.1 ^{**}
Tratamientos	3	7.3 ^{ns}	2155.6 ^{ns}	92.9 ^{ns}	134.8 [*]	620.6 ^{ns}	17.1 ^{ns}
Error Exp.	6	33,4	1922,2	83,4	28,2	306,4	15,5
Total	11						
Media		47,7	580,0	38,5	48,4	49,0	79,8
CV (%)		12,1	7,6	23,7	11,0	35,7	4,9
ns no significativo, *significativo al 5%, **significativo al 1%							
Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		NT/Kg/ha	COT/Kg/ha	N-NO ₃ -/Kg/ha	N-NH ₄ ⁺ /Kg/ha	NPM/Kg/ha	H:%
		NT/Kg/ha	COT/Kg/ha	N-NO ₃ -/Kg/ha	N-NH ₄ ⁺ /Kg/ha	NPM/Kg/ha	H:%
Repetición	2	237.3 ^{ns}	51789.3 ^{**}	227.2 ^{ns}	28 ^{ns}	203.5 ^{ns}	117.2 ^{ns}
Tratamientos	3	13.1 ^{ns}	2740.8 ^{ns}	544.1 ^{ns}	71.6 ^{ns}	343.6 ^{ns}	69.3 ^{ns}
Error Exp.	6	107,5	1965,3	374,3	21,5	493,6	28,7
Total	11						
Media		37,8	661,2	66,2	53,3	21,9	51,5
CV (%)		27,4	6,7	29,2	8,7	101,4	10,4
ns no significativo, *significativo al 5%, **significativo al 1%							

4.4.1. Concentración de Nitrógeno Total (NT).

En el Cuadro N_o 13, se observa el análisis de varianza para el variable nitrógeno total del suelo en Kg/ha antes de la siembra de maíz duro. En la cual reporta diferencias estadísticas significativas entre los tratamiento en estudio. Mientras a los 160 dds y 220 dds no se presentaron diferencias estadísticas no significativas

entre los tratamientos en estudio. En el Gráfico No. 14, la respuesta de los tratamientos de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % el tratamiento T4: que presento un promedio más alto de 83,7 Kg/NT/ha y la que se presentó el menor promedio fue el tratamiento T1: con 54.2 Kg/NT/ha. El resultado obtenido ratifica la diferencias que existe en la cantidad de MO con el cultivo de cobertura asociada con la avena-vicia versus el pasto natural, lo que incidió posiblemente en un mayor contenido de N.

Los resultados del análisis de varianza por tratamiento en el Cuadro No. 14, al comparar con los datos inicial y al final vemos que a los 220 dds muestra una disminución de la concentración de NT en todos los tratamientos evaluados, así en el T1: labranza mínima, pasto natural con remoción más 75 Kg/N/ha con 40.1 Kg/NT/ha y con el menor valor T3: labranza cero, avena vicia con remoción con 35.3 Kg/NT/ha. El efecto observado explica la agregación de cultivo de cobertura al suelo, proveniente de la descomposición de residuos vegetales del ciclo anterior, durante el ciclo de cultivo de maíz duro INIAP-176. Este respuesta es o demás lógica que al final del ciclo de cultivo haya un menor contenido de NT, porque fue asimilado por el cultivo, posiblemente una parte se lixivió, otra se volatilizó, etc. (Monar, C. 2013. Comunicación personal).

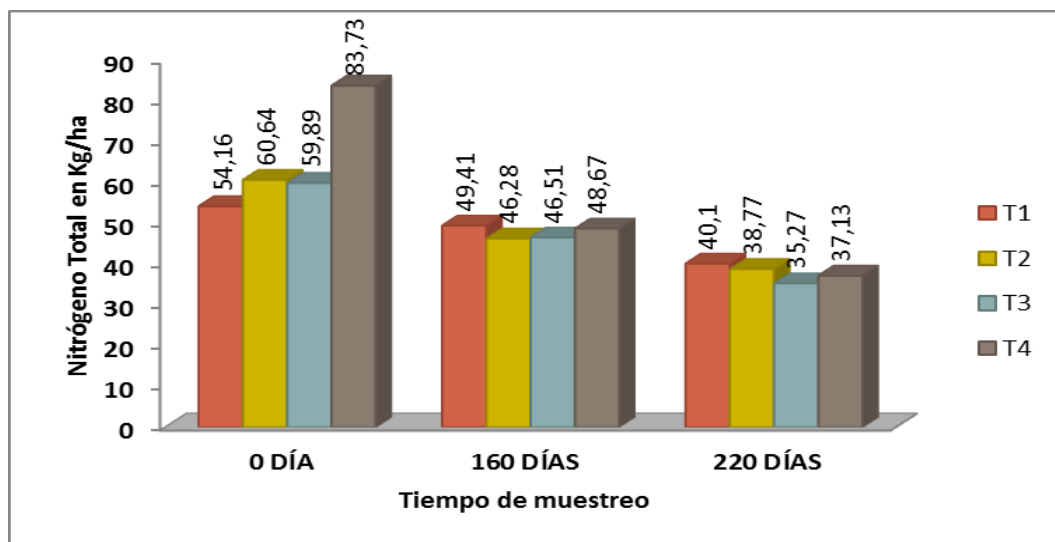


Gráfico. 14. Concentración de Nitrógeno Total del suelo por tratamientos, durante el ciclo del cultivo del maíz duro. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador.2012.

4.4.2. Concentración de Carbono Orgánico Total (COT).

En el Cuadro N^o 13, indican los resultados de los análisis resumidos de varianza de la variable concentración de (COT), indicando diferencias estadísticas no significativas entre los tratamientos en estudio, en la época inicial a los 160 dds ni a los 220 dds de muestreo durante el ciclo del cultivo de maíz duro INIAP-176. Se observa una mayor concentración de (COT) en el T4: la labranza cero, avena-vicia sin remoción y la menor concentración con el T1: labranza mínima, pasto natural con remoción. El resultado obtenido se explica por la mayor cantidad de C orgánico de la naturaleza asociado al pasto natural frente a la Avena-vicia. Los resultados del análisis de varianza por tratamiento Gráfico N^o 15, indican de acuerdo a la época de muestreo para las variables COT. Se observa un incremento de la concentración de COT, a los 220 dds con media general de 661.25 Kg/COT/ha. Gráfico N^o 15. El promedio más alto se registró en el T4: El efecto observado explica la agregación de MO al suelo, proveniente de la descomposición del cultivo de cobertura durante el ciclo de cultivo de maíz duro, donde la mayor acumulación de COT se presenta en la capa superficial por el valor más alto de la relación C/N.

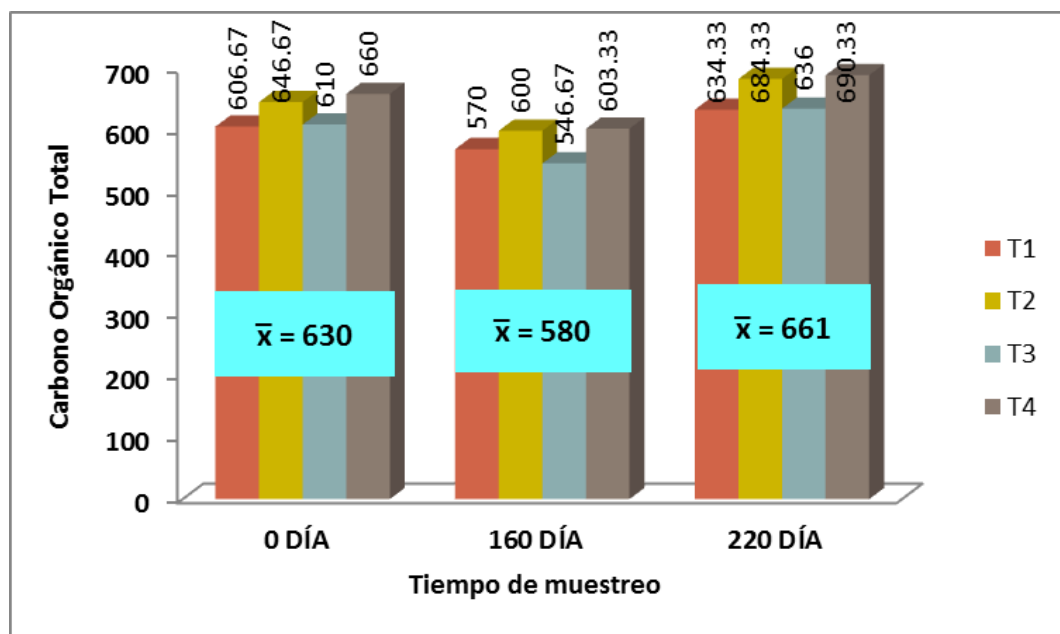


Gráfico. 15. Concentración de Carbono del suelo por tratamientos durante el ciclo del cultivo del maíz duro. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.

4.4.3. Concentración de Nitrógeno Nítrico (N-NO₃⁻).

En el Cuadros N_o 13, los resultados de los análisis de varianza resumidos de la variable concentración de (N-NO₃⁻), presentando diferencias estadísticas no significativas entre los tratamientos en estudio. Se observa mayor concentración de (N-NO₃⁻) antes de la siembra de maíz duro INIAP-176, en el tratamiento (T2), a los 160 dss en el (T1), y a los 220 dds en el (T4). Mientras una disminución en los tratamientos al inicio T4: con 26.7 Kg/N-NO₃⁻/ha, a los 160 dds en T4: con 15.9 Kg/N-NO₃⁻/ha y a los 220 dds en el T3 con 40.9 Kg/N-NO₃⁻/ha. El efecto observado se explica con el mayor nivel de aireación que se presenta en las capas superficiales, asociado a la fertilización y a la incorporación de tejido vegetal de cultivos de cobertura (pasto natural y avena-vicia), la cual favorece el incremento de temperatura y humedad, lo que incidirán en una mayor proliferación de microorganismos nitrificantes se observa en el Gráfico N_o 16, mientras que la disminución a los 160 dds se puede explicar por la mayor demanda de N por parte del cultivo en la etapa R6 sin descartar un posible efecto de inmovilización por la acumulación de tejido vegetal. (Bertsch, F. 2003).

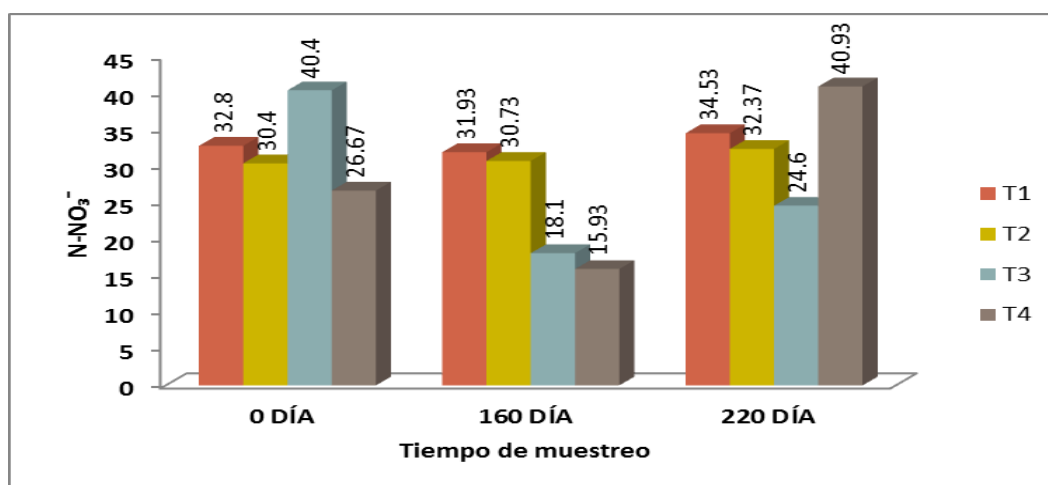


Gráfico. 16. Resultado de Nitrógeno Nítrico del suelo por tratamientos durante el ciclo del cultivo de maíz duro. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.

4.4.4. Concentración de Nitrógeno Amoniacal (N-NH₄⁺).

En el Cuadro N_o 13, muestran los resultados de los análisis resumida de varianza de la variable concentración de (N-NH₄⁺), indicando diferencias estadísticas no

significativas entre los tratamientos en estudio, en la época de muestreo antes de la siembra y a los 220 dds durante el ciclo del cultivo de maíz duro INIAP-176. Únicamente presentado diferencias estadísticas significativas a los 160 dds después de la siembra de maíz duro entre los tratamientos en estudio. El promedio general para esta variable fue de 48.4 Kg/N-NH₄⁺ y un coeficiente de variación de 11%. De acuerdo a la prueba de Tukey al 5% el tratamiento que se presentó con mayor concentración fue el T4: (N-NH₄⁺), mientras con el menor concentración e T1: con 9.7 Kg/N-NH₄⁺ en el Gráfico N_o 17, indicando una respuesta de esta variable al efecto de los tratamientos, de la misma forma que (NT) y (COT), debiéndose principalmente al efecto de la fertilización nitrogenada y amonificación de la materia orgánica mineralizada. El efecto que se puede explicar por una mayor tasa de amonificación en residuos de avena-vicia con menor cantidad de lignina y celulosa, a diferencias del pasto natural. A los 220 dds y una disminución independientemente de los tratamientos, efecto que explica por la mayor demanda de N por parte del cultivo en la etapa R6 (floración). (Bertsch. 2003) y una posterior liberación de N orgánico como resultado de la descomposición de material vegetal y fijación simbiótica por parte del cultivo.

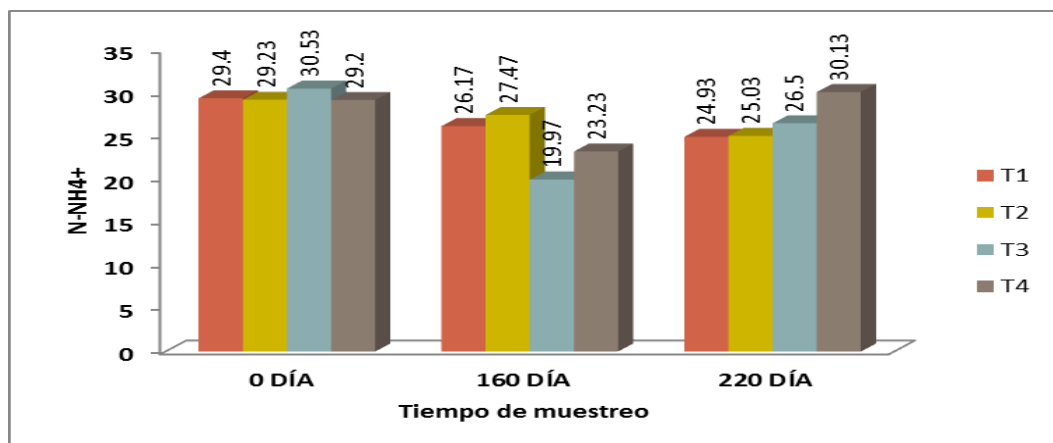


Gráfico. 17. Resultado de Nitrógeno Amoniacal del suelo por tratamientos durante el ciclo del cultivo de maíz duro. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar - Ecuador. 2012.

4.4.5. Concentración de Nitrógeno Potencialmente Mineralizable (NPM).

En el Cuadros N_o 13, presentan los resultados de los análisis de varianza resumido

para la variable concentración de (NPM), indicando que no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en estudio. De acuerdo a la época de muestreo inicial, a los 160 dds y a los 220 dds evaluadas durante el ciclo del cultivo de maíz duro.

El efecto observado se explica con la acumulación de compuestos orgánicos provenientes de la acumulación de flora microbiana por efecto de la fertilización y la fijación simbiótica por parte del cultivo, que se depositan principalmente en la capa superficial. Al evaluar el NPM antes de la siembra de los tratamientos en estudio Gráfico No 18, se observa en el T1: labranza mínima, pasto natural con remoción más el N una mayor concentración y menor concentración en los tratamientos de la (T2, T3 y T4). El resultado obtenido ratifica la diferencias que existe la cantidad de MO en el cultivo de cobertura asociada con la avena-vicia versus el pasto natural que se queda como residuo vegetal.

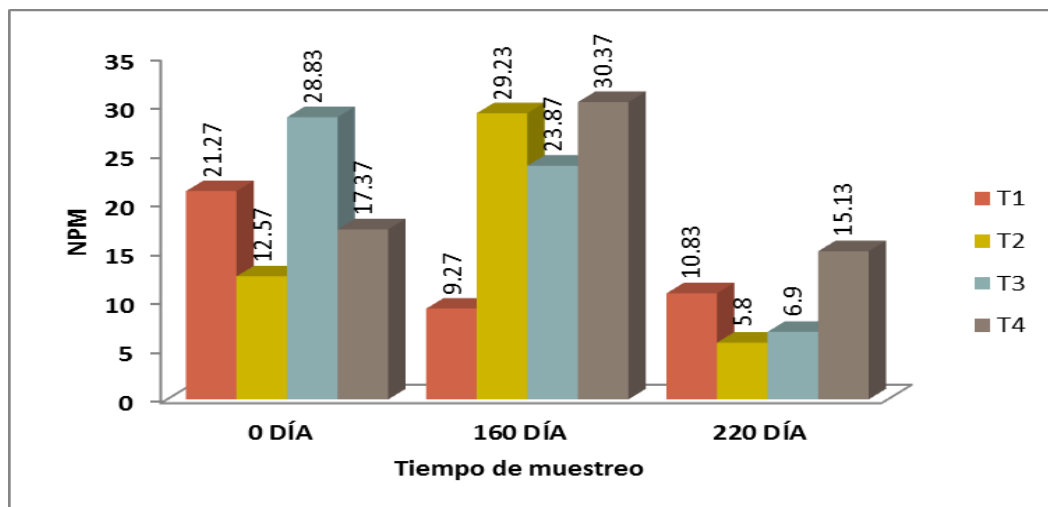


Gráfico. 18. Resultados Nitrógeno Potencialmente Mineralizable del suelo por tratamientos durante el ciclo del cultivo de maíz duro. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar- Ecuador. 2012.

4.4.6. Contenido de Humedad del Suelo (Hs).

En Cuadro No 13, presentan los resultados de los análisis de varianza resumidos para la variable contenido de humedad del suelo, indicando no existe diferencias

estadísticas significativas entre los tratamientos en estudio. Sobre esta variable, se demuestra que no existe influencia del sistema de labranza ni del cultivo de cobertura en rotación aplicado. El mayor contenido de humedad se presenta en la época de muestreo antes de la siembra de maíz duro INIAP-176, a diferencias de los muestreos a los 160 y 220 dds que presentan valores más bajos Gráfico N.º 19. Estos resultados muestran la lógica, al inicio de la siembra el suelo está muy húmedo para la siembra y al final del ensayo el cultivo entra a madurez fisiológica, reduciendo significativamente la precipitación Gráfico N.º 19.

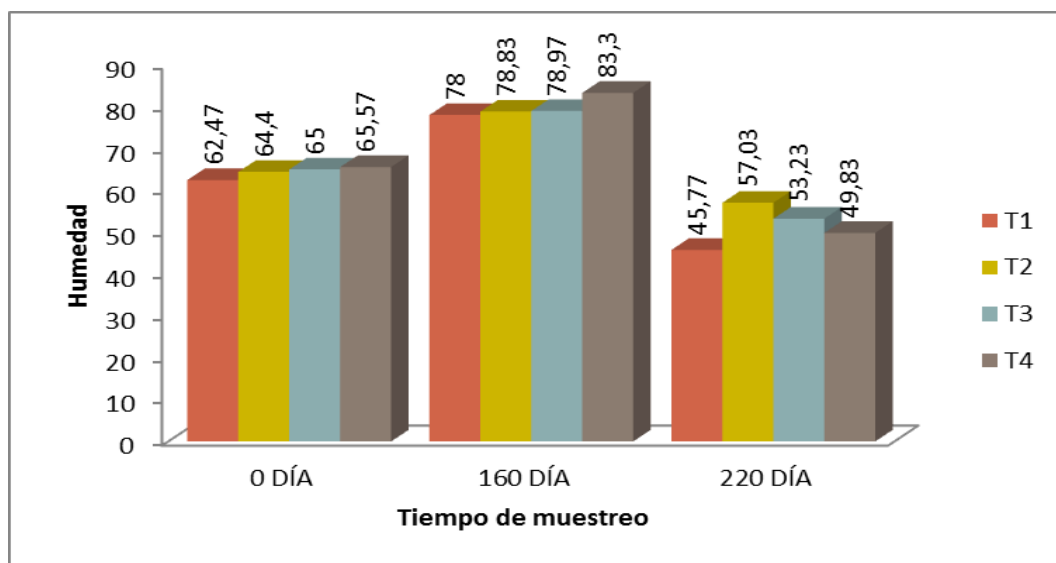


Gráfico.19. Resultados de Contenido de Humedad en % del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz duro. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar -Ecuador. 2012.

4.5. INDICADORES BIOLÓGICOS DEL SUELO.

4.5.1. Macroorganismos

Resultados del muestreo de macroorganismos: hormigas (*Iridomyrmex humilis*), gusano alambre (*Agrotis ex clamationis*), ciempiés (*Lithobius sp*), cutzos (*Phyllophaga sp*), colémbola (*Orchesella villosa*), escarabajo (*Phanaeus splendidulus*), araña (*Scytodes maculata*) y grillos (*Omocestus navasi*), en el ensayo de maíz duro INIAP-176.

Cuadro. 14. Número de macroorganismos existentes en el suelo, al final del ciclo del cultivo de maíz duro INIAP-176. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

Trat.	Macoorganismos/Tratamientos							
	Hormigas	Gusano de alambre	Ciempíes	Cutzos	Colémbola	Escarabajos	Arañas	Grillos
T1	0	1	0	1	0	0	0	0
T2	11	1	5	1	0	1	1	0
T3	0	0	0	0	1	1	0	0
T4	0	0	0	0	0	0	0	1

Se evaluaron el número de macroorganismos en una de muestra de 0.25m² por tratamientos el registrados más alto de macroorganismos fue en el tratamiento T2: labranza cero, pasto natural y sin remoción, quizá incidió el sistema de labranza y pasto natural que mantiene la humedad la misma que no es roturado el suelo por lo tanto vemos que la población de macroorganismos. Mientras en el tratamiento T1: labranza mínima, pasto natural y con remoción, se presentó menor cantidad. La menor presencia de los macroorganismos se debió a las condiciones climatológicas, coincidiendo con la época de verano en donde no existe ningún tipo de malezas para sus habitad nicho ecológicas, que incidió en una menor población de macroorganismos. Lo cual tiene un efecto de sistemas de labranza y rotaciones de cultivos en rotación en el Cuadro N_o 14.

4.6. VARIABLES QUÍMICAS DE LA PLANTA DE MAÍZ

Cuadro.15. Análisis de varianza (ADEVA) resumido para las variables de extracción de nutrientes de la planta, grano y de la tusa de maíz duro INIAP-176 Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios										
		Planta de maíz duro										
		NT	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
Repetición	2	55.2 ^{ns}	5.4 ^{ns}	584.1 ^{ns}	5.5 ^{ns}	7.6 ^{ns}	1.7 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.2 ^{ns}	0.2 ^{ns}	16**	0.2 ^{ns}
Tratamientos	3	83.9 ^{ns}	4.5 ^{ns}	237.8 ^{ns}	6.6 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.6 ^{ns}	4.9 ^{ns}	0.3 ^{ns}	0.1 ^{ns}	10.1*	0.2 ^{ns}
Error Exp.	6	41,4	5,1	294,1	2,4	1,6	0,5	0,1	3,7	3,9	1,2	0,1
Total	11											
Media		24,9	2,8	55,0	9,5	6,1	3,0	0,1	0,6	0,5	9,0	0,6
CV (%)		25,9	79,4	31,2	16,3	20,5	23,0	153,5	15,1	11,1	11,9	40,9
ns no significativo, *significativo al 5%, **significativo al 1%												
Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios										
		Granos de maíz duro										
		NT	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
Repetición	2	1.5 ^{ns}	28.6 ^{ns}	29.7*	342,83**	1.5 ^{ns}	0.2 ^{ns}	0.1*	0.3 ^{ns}	0.1*	0.1 ^{ns}	0.2*
Tratamientos	3	176.6 ^{ns}	21.6 ^{ns}	2.4 ^{ns}	12,61 ^{ns}	5.9 ^{ns}	0.5 ^{ns}	0.3 ^{ns}	0.01*	9.9 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.1 ^{ns}
Error Exp.	6	74,0	9,7	3,0	10,8	5,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	3,3
Total	11											
Media		59,4	26,2	16,7	10,2	6,2	3,3	0,3	1,0	0,6	3,1	0,7
CV (%)		14,5	11,9	10,3	32,2	36,8	14,8	34,2	14,6	13,7	21,9	8,4
ns no significativo, *significativo al 5%, **significativo al 1%												

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios										
		Tusa de maíz duro										
		NT	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
Repetición	2	170*	2 ^{NS}	8.4 ^{NS}	1.9 ^{NS}	3.5 ^{NS}	9.5 ^{NS}	4.8 ^{NS}	0.2 ^{NS}	0.1*	3.8 ^{NS}	0.3 ^{NS}
Tratamientos	3	28.9 ^{NS}	8.7 ^{NS}	14.7 ^{NS}	30.2*	3.6 ^{NS}	0.3 ^{NS}	1.5 ^{NS}	0.1 ^{NS}	0.1*	15.2 ^{NS}	0.4 ^{NS}
Error Exp.	6	17,0	3,8	13,3	3,4	0,8	2,5	2,2	0,2	0,1	28,1	0,5
Total	11											
Media		34,9	16,6	16,4	10,4	8,5	5,4	0,1	1,2	0,6	7,6	0,9
CV (%)		11,8	11,7	22,3	17,8	10,2	29,4	50,3	32,5	18,0	69,4	72,3
ns no significativo, *significativo al 5%, **significativo al 1%												
Σ Total de nutrientes		119,1	45,7	88,1	30,1	20,7	11,7	0,5	2,8	1,8	19,7	2,2

4.6.1. Extracción de nutrientes en Kg/ha en diferentes partes de la planta de maíz duro INIAP-176.

Los análisis de varianza para las variables de extracción químico de nutrientes de la planta, se determinaron diferencias estadísticas no significativas entre los tratamientos en estudio. Al comparar las diferencias de los promedios de los tratamientos en estudio; eso significa que al comparar los tratamientos (T1, T2, T3 y T4), no tuvieron diferente comportamiento en relación entre ellos mismos. La respuesta de los tratamientos en cuanto a la extracción de nutrientes por el grano de maíz duro INIAP-176 y por ende la extracción total, fue similar en las variables medidas fue (NS). Únicamente se presentaron diferencias estadísticas significativas en los variables de micronutrientes como (Fe: en la planta, Zn: en los granos y Cu: en la tusa) de maíz duro, en el Cuadro N_o 15. La cantidad de macro y micro nutrientes extraídos por la planta de maíz es muy importante, siendo necesario un plan de manejo sostenido de fertilización química y orgánica de manejo de cultivo, por sitio específico.

4.6.2. Extracción de nutrientes totales por la planta de maíz en Kg/ha

En la extracción de nitrógeno hay muchos principios ecológicos como la diversificación productiva en el espacio y el tiempo, la conservación efectiva y el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la minimización de la tasa de degradación física, química y biológica del suelo, el incrementar la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, el cultivo y la interacción genotipo ambiente. A mayor extracción de N total en el sistema, mayor biomasa, rendimiento y calidad del grano.

La extracción total de la planta de maíz duro fue de 119.1 Kg/N/ha; 45.7 Kg/P₂O₅/ha; 88.1 Kg/K₂/ha; 30.1 Kg/Ca/ha; 20.7 Kg/Mg/ha; 11.7 Kg/S/ha; 0.5 Kg/B/ha; 1.8 Kg/Cu/ha; 19.7 Kg/Fe/ha; 2.2 Kg/Mn/ha y 2.8 Kg/Zinc/ha en el Cuadro N_o 15. Un buen suministro de N para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes. Para lograr los rendimientos más altos posibles ninguno de los nutrientes debe ser limitado. Los factores interactúan y un cultivo puede hacer mejor uso del factor que limita el crecimiento cuando los otros factores se acercan a su óptimo. El rendimiento del cultivo no puede ser mayor que lo permitan los nutrientes más limitantes del suelo.

El P₂O₅, que es un elemento de lenta asimilación y movilidad, la cantidad total extraída fue de 45.17 Kg/P₂O₅/ha, distribuido el 2.6% a la planta; 57,38% al grano y el 36.39% a la tusa. El mayor porcentaje de P₂O₅, estuvo en el grano lo que demuestra la fuerte sinergia e interacción con el nitrógeno mismos que contribuyen a la calidad de grano. (Monar, C. 2011. Comunicación personal).

El total de K₂O extraído fue de 88.1 Kg/K₂O/ha distribuidos 71.40 Kg/K₂O/ha en los restos vegetales; y 16.67 kg/K₂O/ha en el grano. Este en porcentaje equivale al 81.6% en los restos vegetales y el 18.4% en el grano.

El total Ca extraído fue de 30.1 Kg/Ca/ha. 19.9Kg/Ca/ha estuvieron concentrados en los restos de vegetales; y 10.2 Kg/Ca/ha en el grano.

El total de Mg extraído fue de 20.7 Kg/Mg/ha. 14.57 Kg/Mg/ha en los restos vegetales y 6.15 Kg/Mg/ha en el grano.

El S total extraído fue de 11.7 Kg/S/ha, 8.38 Kg/S/ha. En los restos vegetales, y 3.31 Kg/S/ha en el grano.

Y estos resultados nos demuestran la gran importancia de la fertilización equilibrada y sostenible en el cultivo de maíz. Es de vital importancia el uso y manejo sostenible de los restos vegetales de la planta para su incorporación al suelo, Consternadamente en la zona donde se hace el estudio, los productores queman los restos vegetales y las tusas y lo que es más crítico después de la cosecha en choclo, venden el forraje de maíz a penas en un valor promedio de \$ 60/ha. (Monar, C. 2011).

El restituir al suelo los restos vegetales, estaríamos incorporando 59.8 Kg/N/ha; 19.4 Kg/P₂O₅/ha; 71.4 Kg/K₂O/ha; 19.9 Kg/Ca/ha; 14.6 Kg/Mg/ha y 8.4 Kg/S/ha en el Cuadro N_o 15.

Estos resultados demuestran claramente las alternativas tecnológicas a implementarse para la sostenibilidad de los sistemas de producción y por ende al buen vivir. La práctica de la agricultura de conservación de suelo sumados a BPM de la fertilidad contribuirán a un manejo sostenible del recurso suelo en la microcuenca del río Alumbre lo que se puede aplicar a toda la zona maicera de la provincia Bolívar en donde se cultivan aproximadamente 38.000/ha de maíz; de los cuales 35.000/ha corresponden a maíz suave y 3.000/has de maíz duro. (Monar, C. 2012).

Con base a estos resultados y el manejo de la fertilidad en el maíz duro, podemos mejorar significativamente con la incorporación de los restos vegetales al suelo.

4.7. ÍNDICE DE NITRÓGENO

4.7.1. Reporte de Resultados del Índice de Nitrógeno. Versión 4.4.2 Ecuador.

T1: Labranza mínima, maíz duro con remoción más 75 Kg/N/ha.





**SOIL PLANT
NUTRIENT RESEARCH**
2810 Centre Ave, Bldg 8, Suite 100, Fort Collins, CO 80526



Ecuador Nitrogen Index 4.4.2

Reporte de calculo detallado

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
Investigacion, Educacion y Economia
Servicio de Investigacion Agricola

Informacion Basica

Juan Carlos Arévalo

07/06/2013

Bola de Oro - T1, Lm, Pn, Cr+ N + Maíz duro

Evaluacion del Riesgo

Sistema de N Total (kg N / ha y): 222

Volatilizacion de Amoniacco (kg N / ha y): 1

Desnitrificacion (kg N / ha y): 4

Removido en la Cosecha (kg N / ha y): 101

Indice de Lixiviacion (milímetros): 259,9

Nitrogeno Total Lixiviado (kg N / ha y): 41

Nitrato Residual (kg N / ha y): 73

Eficiencia del Sistema (%): 45

Proporcion N aplicado:N removido por el cultivo: 2,1

Evaluacion economica

Volatilizacion de Amoniacco(\$ / ha y (Perdida)): 0,84

Desnitrificacion(\$ / ha y (Perdida)): 3,19

Nitrogeno Total Lixiviado(\$ / ha y (Perdida)): 30,74

Nitrato Residual(\$ / ha y (Perdida)): 54,9

Clases o Categorías

	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Lixiviacion de Nitratos	10				
Transporte Superficial		10			
Calidad Atmosferico		8			
Sostenibilidad		4			
Total		28			

Para preguntas:

Dr. Jorge A. Delgado
Telefono: 970-492-7260

Email:
Jorge.Delgado@ars.usda.gov

Carlos Monar
Universidad Estatal de
Bolivar

Email: cmonar20@yahoo.es

Luis Escudero
INIAP

Email:
escudero.luis2005@yahoo.com

PDF 1: Respuesta de los tratamientos al Índice de Nitrógeno para medir la sustentabilidad de suelo en el cultivo de maíz duro INIAP-176. Chillanes. 2012.

T2: Labranza cero, maíz duro con remoción.

The screenshot displays the 'Ecuador Índice de Nitrogeno 4.4.2' software interface, divided into three main windows: 'Basic Information', 'Assessment of Risk', and 'Assessment of Risk' (repeated).

Basic Information Window:

- Nombre:** Juan Carlos Arévalo
- Localidad:** Bola de Oro
- Fecha:** 07/06/2013
- Escenario:** T2, Lc, Pn, Sr + Maíz duro
- Precio:** \$ / kg N 0
- Tratamientos Específicos:**
 - Estiercol seco en los 2 últimos anual
 - Estiercol líquido en los 2 últimos anual
 - Fertilizante Aplicada Anualmente
 - Irrigación Aplicada Anualmente

Assessment of Risk Window (Left):

- Indice de Nitrogeno:** 10
- Indice de N2O:** 6
- Sostenibilidad de Suelo:** 3

Assessment of Risk Window (Middle):

- Resultados cualitativos:**
 - Lixiviación de Nitratos:** >45 (Score: 10)
 - Transporte Superficial:** >34-41 (Score: 6)
 - Atmosferico:** >28-33 (Score: 0)
 - Total:** >107 (Score: 16)

Assessment of Risk Window (Right):

- Resultados cualitativos:**
 - Sostenibilidad de Suelo:** >35-48 (Score: 3)

Assessment of Risk Window (Bottom):

- Resultados Cuantitativos:**
 - Sistema de N Total: 190 kg N / ha y
 - Volatilización de Amoniaco: 0 kg N / ha y
 - Desnitrificación: 2 kg N / ha y
 - Removido en la Cosecha: 85 kg N / ha y
 - Indice de Lixiviación: 259,9 mm
 - Nitrogeno Total Lixiviado: 40 kg N / ha y
 - Nitrato Residual: 63 kg N / ha y
 - Eficiencia del Sistema: 45 %
 - Proporcion N aplicado:N removido por el cultivo: 2,18

Navigation and Settings:

- Idioma:** Spanish (selected)
- Unidades:** Metric (selected)
- Buttons:** Guardar, Ir a, Comparar Los Resultados, Mostrar Convertidor, Mostrar Previa Cuantitativos, Mostrar Previa Cualitativo, Cerrar, Interpretacion del Indice, Definicion de resultados, Evaluacion economica, Matriz de rangos, Guardar Archivo, Generar Reporte.



SOIL PLANT
NUTRIENT RESEARCH
2910 Centre Ave, Bld 8, Suite 100, Fort Collins, CO 80526



Ecuador Nitrogen Index 4.4.2

Reporte de calculo detallado

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
Investigacion, Educacion y Economia
Servicio de Investigacion Agricola

Informacion Basica

Juan Carlos Arévalo

07/06/2013

Bola de Oro - T2, Lc, Fn, Sr + Maíz duro

Evaluacion del Riesgo

Sistema de N Total (kg N / ha y): 190

Volatilizacion de Amoniacco (kg N / ha y): 0

Desnitrificacion (kg N / ha y): 2

Removido en la Cosecha (kg N / ha y): 85

Índice de Lixiviacion (milímetros): 259,9

Nitrogeno Total Lixiviado (kg N / ha y): 40

Nitrato Residual (kg N / ha y): 63

Eficiencia del Sistema (%): 45

Proporcion N aplicado:N removido por el cultivo: 2,2

Evaluacion economica

Volatilizacion de Amoniacco(\$ / ha y (Perdida)): 0

Desnitrificacion(\$ / ha y (Perdida)): 0

Nitrogeno Total Lixiviado(\$ / ha y (Perdida)): 0

Nitrato Residual(\$ / ha y (Perdida)): 0

Clases o Categorías

	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Lixiviacion de Nitratos	10				
Transporte Superficial	6				
Calidad Atmosferico	0				
Sostenibilidad	3				
Total	16				

Dr. Jorge A. Delgado
Telefono: 970-492-7260
Email:
Jorge.Delgado@ars.usda.gov

Para preguntas:
Carlos Monar
Universidad Estatal de
Bolivar
Email: cmonar20@yahoo.es

Luis Escudero
INIAP
Email:
escudero.luis2005@yahoo.com

PDF 2: Respuesta de los tratamientos al Índice de Nitrógeno para medir la sustentabilidad de suelo en el cultivo de maíz duro INIAP-176. Chillanes. 2012.

T3: Labranza cero, maíz duro con remoción.

The screenshot displays the 'Assessment of Risk' window of the 'Ecuador Índice de Nitrogeno 4.4.2' software. The interface is divided into several panels:

- Basic Information Panel (Top Left):**
 - Nombre: Juan Carlos Arévalo
 - Localidad: Bola de Oro
 - Fecha: 07/06/2013
 - Escenario: T3, Lc, Av, Cr + Maíz duro
 - Precio: \$ / kg N 0
 - Treatments: Estiercol seco en los 2 últimos anual, Estiercol liquido en los 2 últimos anual, Fertilizante Aplicada Anualmente, Irrigación Aplicada Anualmente.
- Assessment Results (Center):**
 - Lixiviación de Nitratos:** Scale 0-45, value 10.
 - Transporte Superficial:** Scale 0-41, value 8.
 - Atmosferico:** Scale 0-33, value 0.
 - Total:** Scale 0-107, value 18.
- Soil Sustainability (Right):**
 - Scale 0-48, value 3.
- Quantitative Results (Bottom Center):**
 - Sistema de N Total: 190 kg N / ha y
 - Volatilización de Amoníaco: 0 kg N / ha y
 - Desnitrificación: 1 kg N / ha y
 - Removido en la Cosecha: 83 kg N / ha y
 - Índice de Lixiviación: 259,9 mm
 - Nitrogeno Total Lixiviado: 41 kg N / ha y
 - Nitrato Residual: 63 kg N / ha y
 - Eficiencia del Sistema: 44 %
 - Proporción N aplicado:N removido por el cultivo: 2,22
- Navigation and Settings (Bottom Left):**
 - Índice de Nitrogeno: N Index (Ecuador), P-Índice (California).
 - Idioma: Spanish (selected), English, Portuguese.
 - Unidades: Metric (selected), English.
 - Logos: USDA, INiAP, SANREM CRSP, PROINPA, USAID.



**SOIL PLANT
NUTRIENT RESEARCH**
2810 Centre Ave, Bldg 8, Suite 100, Fort Collins, CO 80526



Ecuador Nitrogen Index 4.4.2

Reporte de calculo detallado

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
Investigacion, Educacion y Economia
Servicio de Investigacion Agricola

Informacion Basica

Juan Carlos Arévalo

07/06/2013

Bola de Oro - T3, Lc, Av, Cr + Maíz duro

Evaluacion del Riesgo

Sistema de N Total (kg N / ha y): 190

Volatilizacion de Amoniacco (kg N / ha y): 0

Desnitrificacion (kg N / ha y): 1

Removido en la Cosecha (kg N / ha y): 83

Indice de Lixiviacion (milimetros): 259,9

Nitrogeno Total Lixiviado (kg N / ha y): 41

Nitrato Residual (kg N / ha y): 63

Eficiencia del Sistema (%): 44

Proporción N aplicado:N removido por el cultivo: 2,2

Evaluacion economica

Volatilizacion de Amoniacco(\$ / ha y (Perdida)): 0

Desnitrificacion(\$ / ha y (Perdida)): 0

Nitrogeno Total Lixiviado(\$ / ha y (Perdida)): 0

Nitrato Residual(\$ / ha y (Perdida)): 0

Clases o Categorías

	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Lixiviacion de Nitratos	10				
Transporte Superficial		8			
Calidad Atmosferico	0				
Sostenibilidad	3				
Total	18				

Para preguntas:

Dr. Jorge A. Delgado
Telefono: 970-492-7260

Email:
Jorge.Delgado@ars.usda.gov

Carlos Monar
Universidad Estatal de
Bolivar

Email: cmonar20@yahoo.es

Luis Escudero
INIAP

Email:
escudero@iniap.gov.ec

PDF 3: Respuesta de los tratamientos al Índice de Nitrógeno para medir la sustentabilidad de suelo en el cultivo de maíz duro INIAP-176. Chillanes. 2012.

T4: Labranza cero, maíz duro sin remoción.

The screenshot displays the 'Ecuador Índice de Nitrogeno 4.4.2' software interface, divided into several functional windows:

- Basic Information Window:** Contains input fields for Name (Juan Carlos Arévalo), Location (Bola de Oro), Date (07/06/2013), Scenario (T4, Lc, Av, Sr + Maíz duro), and Price (\$ / kg N 0). It also lists specific treatments like 'Estiercol seco en los 2 últimos anual' and 'Fertilizante Aplicada Anualmente'.
- Assessment of Risk Window:** Shows qualitative results for four categories:
 - Lixiviación de Nitratos:** Scale 0-10 to >45. Current value is 10.
 - Transporte Superficial:** Scale 0-7 to >34-41. Current value is 8.
 - Atmosferico:** Scale 0-7 to >28-33. Current value is 0.
 - Total:** Scale 0-24 to >107. Current value is 18.
- Soil Sustainability Window:** Shows qualitative results for 'Sostenibilidad de Suelo' with a scale from 0-6 to >35-48. Current value is 3.
- Quantitative Results Window:**

Sistema de N Total	240 kg N / ha y	Indice de Lixiviación	259,9 mm
Volatilización de Amoníaco	0 kg N / ha y	Nitrogeno Total Lixiviado	51 kg N / ha y
Desnitrificación	2 kg N / ha y	Nitrato Residual	88 kg N / ha y
Removido en la Cosecha	96 kg N / ha y	Eficiencia del Sistema	40 %
Proporción N aplicado:N removido por el cultivo		2,43	
- Navigation and Settings Window:** Includes options for 'Indice de Nitrogeno', 'Metrico Unidades', and various report generation buttons like 'Mostrar Previa Cuantitativos' and 'Generar Reporte'.



SOIL PLANT
NUTRIENT RESEARCH
2810 Centre Ave, Bldg 8, Suite 100, Fort Collins, CO 80526



Ecuador Nitrogen Index 4.4.2

Reporte de calculo detallado

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
Investigacion, Educacion y Economia
Servicio de Investigacion Agricola

Informacion Basica

Juan Carlos Arévalo

07/06/2013

Bola de Oro - T4, Lc, Av, Sr + Maiz duro

Evaluacion del Riesgo

Sistema de N Total (kg N / ha y): 240

Volatilizacion de Amoniaco (kg N / ha y): 0

Desnitrificacion (kg N / ha y): 2

Removido en la Cosecha (kg N / ha y): 96

Indice de Lixiviacion (milímetros): 259,9

Nitrogeno Total Lixiviado (kg N / ha y): 51

Nitrato Residual (kg N / ha y): 88

Eficiencia del Sistema (%): 40

Proporcion N aplicado:N removido por el cultivo: 2,4

Evaluacion economica

Volatilizacion de Amoniaco(\$ / ha y (Perdida)): 0

Desnitrificacion(\$ / ha y (Perdida)): 0

Nitrogeno Total Lixiviado(\$ / ha y (Perdida)): 0

Nitrato Residual(\$ / ha y (Perdida)): 0

Clases o Categorías

	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Lixiviacion de Nitratos	10				
Transporte Superficial		8			
Calidad Atmosferico	0				
Sostenibilidad	3				
Total	18				

Para preguntas:

Dr. Jorge A. Delgado
Telefono: 970-492-7260

Carlos Monar
Universidad Estatal de
Bolivar

Luis Escudero
INIAP

Email:
Jorge.Delgado@ars.usda.gov

Email: cmonar2@yahoo.es

Email:
escudero.luis2005@yahoo.com

PDF 4: Respuesta de los tratamientos al Índice de Nitrógeno para medir la sustentabilidad de suelo en el cultivo de maíz duro INIAP-176. Chillanes. 2012.

La herramienta informática de Index Nitrogen versión 4.4.2 Ecuador fue desarrollado por Dr. Delgado, J. et. al., 2013, en varios años de estudio científico por USDA, ARS, mismo que está siendo validado para Ecuador a través del proyecto INIAP-SANREM- CRSP y la Universidad Estatal de Bolívar. Los resultados sistematizados de los cuatro tratamientos en estudio, nos demuestran claramente que dependen de varios factores: Físicas de suelo como densidad aparente, profundidad de suelo, textura, estructura, compactación; Química del suelo como pH, M.O macro y micronutrientes; Bioclimáticas como la precipitación, humedad, temperatura, evapotranspiración; Biológicas, Macro y Microfauna del suelo; Agronómicas como rendimiento, materia seca, y prácticas de conservación de suelos como, barreras vivas, curvas de nivel, manejo de residuos, cultivos de cobertura y rotación de cultivos.

Durante el ciclo del maíz duro INIAP 176 de marzo/2012 a septiembre/2012, fue relativamente un año lluvioso con períodos normales lo que incidió en un normal desarrollo vegetativo de la planta. Bajo estas condiciones el mejor tratamiento fue T1 corresponde a labranza mínima, pasto natural con remoción, maíz duro más 75 Kg/N/ha/año y/o la agricultura convencional, mismo que tuvo únicamente el N disponible en el suelo y de acuerdo al análisis químico del suelo antes y después del ensayo en alrededor de 32 y 24 Kg/N/ha.

En los PDF 1, 2, 3 y 4, podemos observar los resultados cualitativos obtenidos, donde las barras de color verde señaladas con las flechas, nos indican que los suelos se encuentran con un buen manejo tanto en la utilización de fertilizantes, prácticas de conservación, factores físicos del suelo y manejo agronómico del cultivo.

Dentro de los resultados cuantitativos obtenidos vemos que el nitrógeno total en el sistema de la agricultura convencional fue de 222 Kg/N/ha/año, un proceso de desnitrificación mínimo de 4 Kg/N/ha/año; la cosecha removió 101 Kg/N/ha/año, debido a las condiciones climáticas normales de cantidad de precipitación y distribución. Se lixiviaron 41 Kg/N/ha/año. En el suelo en forma de nitrato

residual quedaron 37 Kg/N/ha/año; se presentó una eficiencia del sistema del 45 % con una proporción de N aplicado versus N removido por el cultivo de 2.15 Kg/N/ha/año. (PDF 1).

Dentro de los resultados cuantitativos obtenidos vemos que el nitrógeno total en la agricultura de conservación fue de 240 Kg/N/ha/año, un proceso de desnitrificación mínimo de 2 Kg/N/ha/año; la cosecha removió 96 Kg/N/ha/año, debido a las condiciones climáticas normales de cantidad de precipitación y distribución. Se lixiviaron 51 Kg/N/ha/año. En el suelo en forma de nitrato residual quedando 88 Kg/N/ha/año; se presentó una eficiencia del sistema del 40 % con una proporción de N aplicado versus N removido por el cultivo de 2.2 Kg/N/ha/año. (PDF 4).

Al realizar una evaluación económica en la agricultura convencional podemos ver que las pérdidas de nitrógeno total lixiviado y de nitrato residual fueron de \$ 30.74 y \$ 54.90 USD/ha/año respectivamente. (PDF 1). Mientras en la agricultura de conservación no se detectan en pérdidas económicas. (PDF 2, 3 y 4).

La variedad de maíz duro INIAP 176 en agricultura de conservación y en suelos de la zona agroecológica de la Bola de Oro respondió a una dosis optima de 75 Kg/N/ha. En comparación a otros cultivares mejorados como el INIAP 101 que necesita mínimo 120 Kg/N/ha. (Monar, C. 2010).

Los tratamientos de agricultura de conservación presentaron una eficiencia total del sistema del 40%. (PDF2, 3 y 4). El mayor riesgo de dosis elevadas de N superiores a 75 Kg/N/ha son la baja eficiencia del N mayor volatilización en sequía y mayor lixiviación en eventos de alta precipitación. Bajo condiciones normales del clima y si buscamos incrementar rápidamente al rendimiento de maíz, habría una respuesta lineal a las dosis de N es decir a mayor cantidad de N mayor rendimiento; sin embargo para un ensayo sostenible del N y reducir las pérdidas e incrementar la eficiencia, es necesario un manejo integrado del cultivo con buenas prácticas de producción (BPP) con cultivos de cobertura y rotación de

cultivos. Por lo general entre 30% y 60% del nitrógeno aplicado es directamente absorbido en los tejidos del cultivo. Para la mayoría de los cultivos de granos es normal que entre un cuarto y la mitad del nitrógeno absorbido regrese al suelo en forma de residuos del propio cultivo (incluyendo el nitrógeno de las raíces). La otra mitad del nitrógeno absorbido es removido junto con la cosecha. Otro 20% a 40% regresa al suelo en diferentes residuos, y 20% a 40% restante se pierde en el medio ambiente con el agua o en forma de gas en la atmósfera, siendo causa de contaminación nítrica. (Delgado, J.A and R.F. Follett. 2002).

Ha sido demostrado que el Nitrógeno limita el rendimiento y /o afectan la calidad; el N no puede ser sustituido por algunos otros nutrientes. En consecuencia, para algunas prácticas agrícolas, la fertilización equilibrada esencialmente significa una oferta de nitrógeno para tener un nivel elevado de fertilidad. Los principales factores determinantes de la fertilidad del suelo son: la materia orgánica (incluyendo la biomasa microbiana), la textura, la estructura, la profundidad, el contenido de los nutrientes, la capacidad de almacenamiento (capacidad de absorción), la reacción del suelo y la ausencia de los elementos tóxicos (por ejemplo: aluminio libre). Los suelos difieren ampliamente en estos factores. Es por supuesto, difícil estimar en forma precisa las pérdidas causadas a través de estos factores que afectan el crecimiento de las plantas y los rendimientos del cultivo. Los fertilizantes nitrogenados no absorbidos quedan en el suelo y alteran su estructura, destruyendo las bacterias con la consiguiente reducción de fertilidad. (Shaffer y Delgado. 2002.; Delgado et al., 2006).

El nitrógeno no absorbido por las plantas se convierte en nitratos por acción de los microorganismos del suelo. Los nitratos pueden ser arrastrados por las aguas, o transformados en óxido de nitrógeno por la acción de bacterias. Si los óxidos de nitrógeno escapan del suelo y se incorporan a la atmósfera, pueden alcanzar la estratosfera, donde a través de una serie de reacciones químicas contribuyen a la destrucción de la capa de ozono, así aumentando la radiación ultravioleta que ejerce efectos negativos sobre las plantas y el hombre, que inciden en el calentamiento global. (Delgado, J.A and R.F. Follett. 2002).

4.8. ANÁLISIS ECONÓMICO DE PRESUPUESTO PARCIAL (AEPP).

Cuadro.16. Análisis Económico de Presupuesto Parcial para los tratamientos de prácticas de conservación, sistemas de labranza y rotación. Microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador. 2012.

Tratamiento Nº	Rendimiento Kg/ha	Rendimiento Kg/ha Ajustada al 10%	Ingreso Bruto USD/ha	Total de Costos que Varían USD/ha	Total de Beneficios Netos USD/ha
T1	4753	4277.9	1540.0	797.5	742.5
T2	3961	3564.9	1283.4	570.7	712.6
T3	3892	3502.8	1261.0	579.8	681.2
T4	4051	3645.9	1312.5	574.2	738.4

Análisis de Dominancia (D)			
Tratamiento Nº	Total de Costos que Varían USD/ha	Total de Beneficios Netos USD/ha	Dominancia (D)
T2	570.7	712.6	
T4	574.2	738.4	
T3	579.8	681.2	D
T1	797.5	742.5	

Análisis de Tasa Marginal de Retorno (TMR)					
Tratamiento Nº	Total de Beneficio Neto USD/ha	Total de Costos que Varían USD/ha	Total de Beneficios Netos USD/ha	Total de Costos que Varían USD/ha	TMR %
T2	712.6	570.7	25.80	3.50	737
T4	738.4	574.2	4.10	223.30	2
T1	742.5	797.5			

El análisis económico de presupuesto parcial, se realizó de acuerdo a la metodología de Perrín, et. al. 1998, en que toma en cuenta únicamente los costos que varían en cada tratamiento, como fue en este estudio las dosis de N mano de obra y costo de envases. El precio promedio de venta de un Kg. de maíz fue de 0,36 centavos de dólar, el Kg. de urea fue 0,76 centavos de dólar, el valor de un jornal por día fue de \$ 8 y el costo de un envase con una capacidad de 45 Kg. 0,30 centavos de dólar.

El tratamiento T3: que corresponde a labranza cero, avena-vicia con remoción y maíz duro, fue dominado principalmente por los valores más altos de los costos que variaron y una reducción del rendimiento y por ende de los beneficios netos.

4.8.1. Análisis marginal de retorno

La tasa Marginal de Retorno (TMR), se calculó con la fórmula:

$$\text{TMR} = \frac{\Delta\text{BN}}{\Delta\text{CV}} \times 100$$

ΔBN = Incremento en el Beneficio Neto (\$/ha.).

ΔCV = Incremento en los Costos que varían (\$/ha.).

100 = Porcentaje

La Tasa de Retorno marginal de 737%, indican cuando los productores de sistema de producción maíz-frejol de la microcuenca del río Alumbre pasen de la aplicación de la tecnología del T1 (labranza mínima, pasto natural con remoción y maíz duro con remoción hacia la tecnología del tratamiento T4 (labranza cero, avena-vicia sin remoción y maíz duro sin remoción), podrían obtener una ganancia de USD 7.37 dólar por cada dólar que inviertan en el cambio de tecnología.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Una vez realizado los diferentes análisis estadísticos, agronómicos, Índice de nitrógeno y económico, se sintetizan las siguientes conclusiones:

- En la comunidad Bola de Oro de la microcuenca del río Alumbre, la precipitación total durante el ciclo del cultivo fue de 719 mm lo que fue suficiente para el normal el crecimiento y desarrollo del cultivo, misma que necesita 750 mm.
- El rendimiento promedio más alto se presentó en los tratamientos T1: labranza mínima, pasto natural con remoción más 75 Kg/N/ha. Produjo un rendimiento de 4.71 Tm/ha. y el T4: labranza cero, avena-vicia sin remoción produjo un rendimiento de 4.50 Tm/ha al 14% de la humedad.
- En esta investigación podemos decir, que el cultivo de cobertura dio un efecto positivo en la producción de maíz duro INIAP-176, por el proceso de mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas, reduciendo la escorrentía y el manejo de la eficiencia agronómica y química del N.
- La Densidad aparente, Humedad gravimétrica, y Compactación, no tuvieron cambios significativos durante el ciclo del cultivo de maíz que fue de seis meses; pero si comparamos con los datos evaluados desde el año 2010, ya se van presentando cambios significativos en las físicas del suelo.
- Las propiedades químicas del suelo analizadas tales como la extracción de nutrientes por toda la planta el N siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de la planta y el rendimiento. Un buen suministro de N para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes. Para lograr los rendimientos más altos posibles ninguno de los nutrientes debe ser limitado. Los factores interactúan y un cultivo puede hacer mejor uso del factor que limita el crecimiento cuando los otros factores se acercan a su óptimo.

- Estos resultados nos demuestran la gran importancia de la fertilización equilibrada y sostenible en el cultivo de maíz. Es de vital importancia el uso y manejo sostenible de los restos vegetales de la planta para su incorporación al suelo.
- Restituir al suelo los restos vegetales, estaríamos incorporando 59.8 Kg/N/ha; 19.4 Kg/P₂O₅/ha; 71.4 Kg/K₂O/ha; 19.9 Kg/Ca/ha; 14.6 Kg/Mg/ha y 8.4 Kg/S/ha. Estos resultados demuestran claramente las alternativas tecnológicas a implementarse para la sostenibilidad de los sistemas de producción. La práctica agricultura de conservación de suelo más BPM de la fertilidad contribuirán a un manejo sostenible del recurso suelo.
- Con las prácticas de agricultura de conservación (cultivos de cobertura y labranza cero), se logran mejores beneficios económicos y una disminución de los riesgos de pérdida del suelo por efecto de labranza, además hay más reducción de los costos, en comparación con las prácticas convencionales que utilizan los productores de maíz en la microcuenca del río Alumbre. Económicamente la mejor alternativa tecnológica para la microcuenca de río Alumbre fue el T4: labranza mínima, avena-vicia sin remoción, con el valor más alto de TMR 737%.
- La cobertura que brinda el pasto natural y avena-vicia según los tratamientos, hace que la humedad se retenga en el suelo y el maíz cumpla con todos sus procesos. Así observar la planta de maíz del tratamiento sin remoción vio más verde que los de tratamientos con remoción de residuos.

5.2. RECOMENDACIONES

Con base a las principales conclusiones sistematizadas en esta investigación, se sugieren las siguientes recomendaciones:

- La microcuenca del río Alumbre y en particular la comunidad Bola de Oro presenta altas precipitaciones (1266,5 mm durante el año) por lo que se hace necesario validar nuevos materiales de maíz que sea tolerantes a la alta precipitación y resistentes a las enfermedades.
- La fertilización nitrogenada óptima es de 75 Kg/N/ha para la zona La Bola de Oro en dos aplicaciones: a los 20 y 60 días después de la siembra de maíz.
- Al dejar la mezcla forraje de avena-vicia al inicio de la floración como cultivo de cobertura al suelo estaríamos remplazando 77 a 93.1 Kg/N/ha para el siguiente cultivo.
- Se recomienda para la zona la Bola de Oro como una alternativa, labranza cero, avena-vicia sin remoción.
- Por ser una investigación donde se quiere medir el efecto de las prácticas de conservación de suelos y los sistemas de labranza, se deben establecer parámetros de evaluación fijos, tales como: porcentaje de emergencia y rendimiento, densidad aparente, compactación análisis de macro y micronutrientes, únicamente al inicio y final del ciclo de cultivo en cada una de las rotaciones involucradas en la investigación.
- Las investigaciones en agricultura de conservación son de mediano y largo plazo por lo tanto es importante involucrar a los organismos de desarrollo locales como la Universidad, Gobierno Provincial Municipios y los productores para dar sustento y seguimiento a estas investigaciones.
- Incluir en los planes de estudio en la Universidad el Índice de Nitrógeno, mismo que constituye una nueva herramienta que permite optimizar la eficiencia de los fertilizantes y las prácticas de agricultura de conservación en los diferentes cultivos, lo que contribuye a la sostenibilidad del sistema de producción.

- Se recomienda para el control de malezas se puede aplicar herbicida a base de Glifosato en una dosis de 2.50 cc en 20 l/agua, 15 días antes de la siembra, en los dos sistemas de labranza cero y labranza mínima.
- Se recomienda a los 30 días después de la siembra de maíz se puede aplicar herbicidas selectivas, a base de Atrazina en una dosis de 1.5 a 2 Kg/ha y 4D SAL AMINA en dosis de 100 cc en 20 litros de agua.

VI. RESUMEN Y SUMMARY

6.1. RESUMEN

La agricultura de conservación en condiciones de ladera y la eficiencia de los nutrientes en el cultivo de maíz, son alternativas tecnológicas que el proyecto SANREM-CRSP viene implementando en la microcuenca del Río Alumbre. Sin embargo no se han medido los efectos en forma tangible. Esta investigación nos permitió: i). Evaluar a mediano plazo los efectos de los sistemas de labranza, cultivos de cobertura y rotación con maíz duro sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo. ii). Determinar el efecto de las Buenas Prácticas de Manejo del suelo sobre el rendimiento de maíz duro. iii). Realizar un análisis económico de la implementación de los sistemas de labranza, cultivos de cobertura y rotación.

Los Tratamientos en estudio fueron: T1: Labranza mínima, pasto natural con remoción, T2: Labranza cero, pasto natural sin remoción, T3: Labranza cero, avena-vicia con remoción y T4: Labranza cero, avena-vicia sin remoción. Se aplicó el diseño de bloques completos al azar “DBCASe realizó el análisis estadístico de varianza y prueba de Tukey al 5% para comparar promedios de tratamientos, se evaluaron variables físicas, químicas, biológicas y también se utilizó el Índice de Nitrógeno para evaluar la sustentabilidad del sistema. Como resultados tenemos que: La precipitación total el ciclo de cultivo de maíz duro INIAP-176 fue de 719 mm, en los seis meses del cultivo, los meses de mayor precipitación fueron febrero y marzo. La densidad aparente y la humedad gravimétrica analizadas de 0 a 25 cm, no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, sus efectos se podrán medir a mediano o largo plazo. La respuesta de los tratamientos a la compactación en diferentes profundidades y a través del tiempo fueron estadísticamente similares (ns), se pudo ver que a medida que avanza en profundidad, el suelo es más compacto. Para las variables de rendimiento y extracción de nutrientes en las diferentes partes de la planta (grano, tusa y restos vegetales de la planta) no existieron

diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), esto significa que los tratamientos de agricultura de conservación no tuvieron diferente comportamiento. La extracción total del nitrógeno por la planta fue de 119,11 Kg/N/ha. Económicamente el tratamiento con el beneficio neto más alto (\$ 737/ha.) fue el T4: labranza cero, avena-vicia sin remoción. Al utilizar el Índice de Nitrógeno se pudo ver que no existen diferencias entre los tratamientos de esta investigación, esto quiere decir que todas las prácticas de agricultura de conservación utilizadas pueden contribuir a la sostenibilidad del sistema de producción.

6.2. SUMMARY

The conservation agriculture in hillside conditions and the efficiency of the nutrients in the cultivation of corn, they are alternative technological that the project SANREM-CRSP comes implementing in the microcuenca of the River it Lights. However he she has not been possible to measure their effect in tangible form. This investigation allowed us. :i). Evaluate the effect of two practices of conservation of floors on the physical, chemical and biological characteristics of the floor. ii). Determine the effect of the Good Practices of Handling of the Floor on the yield of hard corn, and. iii). Carry out an economic analysis of the implementation of good practices of handling of the floor. The Treatments in study were: T1: Minimum farm, I pasture natural with removal, T2: Farm Zero, natural grass without removal, T3: Farm zero, oat-corrupts with removal and T4: Farm zero, oat-corrupts without removal. The design of complete blocks was applied at random "DBCA was carried out the statistical analysis of variance and test from Tukey to 5% to compare averages of treatments, physical, chemical, biological variables were evaluated and the Index of Nitrogen was also used to evaluate the sustentabilidad of the floor. As results we have what: The total precipitation the cycle of cultivation of hard corn INIAP-176 was of 719 mm, in the six months of the cultivation, the months of more precipitation were February and March. The answer of the treatments to the compaction in different depths and through the time they were statistically similar (ns), one could see that as it advances in depth, the floor is more compact. For the yield variables and extraction of nutritious in the different parts of the plant (I seed, gopher and vegetable rest of the plant). it didn't exist significant statistical differences ($P>0.05$), this means that the treatments of conservation agriculture didn't have different behavior. The total extraction of the nitrogen for the plant is economically of 119.11 Kg/N/ha the treatment with the net profit (\$ 738.4/ha) it was the T4 (Farm Zero, oat-corrupts without removal). When using the Index of Nitrogen one could see that differences don't exist among the treatments of this investigation, this means that all the used practices of conservation agriculture are sustainable and they conserve the floor.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. **ALVARADO, S., R. JARAMILLO, F. VALVERDE, R. PARRA.** 2011. Manejo de nutrientes por sitio específico (MNSE). en el cultivo de maíz bajo labranza de conservación para la provincia de Bolívar. Boletín Técnico No. 150. Quito, Ecuador.
2. **AGROMAT.** 2006. Política ambiental para el desarrollo sustentable del sector agropecuario del Ecuador. Revista informativa del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Edición N° 1, Año 1, Editorial AXXIS Publicidad. Quito-Ecuador. P. 41.
3. **AGRONET.** 2009. Materia Orgánica. Artículo principal. Portal (En línea).
4. **ALDRICH, S. y LONG, M.** 2000. Producción Moderna del Maíz. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). Buenos Aires. Pp. 10-22.
5. **ARMAS, L.** 1996. “Plan de Manejo, aprovechamiento y conservación de los microcuencas de Arco Cucho y Ladrillos Flanco oriental de la parte alta de Volcán Pichincha.”. Tesis de grado Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador. Facultad Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador P. 124.
6. **ALVARENGA, R.C.; CRUZ, J.C.; NOVOTNY, E.H.** Plantas de cobertura de sólo. Embrapa Milhoe Sorgo. Sistema de Produção. Disponível em 13/fev/2007:
<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/ferverde.htm>
7. **AITA, C.; GIACOMINI, S. J.** Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de sólo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira Ciencia Sólo**, v.27, p.601-612, 2003.
8. **BARRERA, V., CÁRDENAS, F., ESCUDERO, L. y ALWANG, J.** 2007. Manejo de recursos naturales basado en cuencas hidrográficas en agricultura de pequeña escala: el caso de la subcuenca del río chimbo. Estudio de línea base. Guaranda, Ec. Proyecto INIAP-SANREM. Pp.11-15
9. **BARRERA, V.** 2007; León-Velarde, C.; Grijalva, J. y Chamorro, F., 2004. Manejo de sistemas de producción “Papa-Leche” en la sierra Ecuatoriana. INIAP CIP-PROMSA. Editorial ABYA-YALA. Quito. Ecuador. P. 1996.

10. **BEBBINGTON, A.**, 1999. Capitals and Capabilities: A Framework for Analyzing Peasant Viability, Rural Livelihoods and Poverty. World Development, Pp. 27: 2021-2044.
11. **BERTSCH, F.** 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo
12. **BRIZUELA, L.** 1999. Guía Técnica para la Producción de Maíz en Honduras. Programa Nacional de Maíz. Omonita, Cortés. Pp. 27-30.
13. **BURT, R., ED.** 2004. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report 42, Version 4.0. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.
14. **CARVAJAL, M.** 1992. Estudio de la erosión y prácticas de conservación de suelos mediante cuatro parcelas experimentales en Mojanda-Cajas. Tesis. Ing. Agr. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas Pp. 31-36.
15. **CROVETTO, C.** 1992. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Concepción (Chile).
16. **DELGADO, J. A. and R.F. Follet.** 2002. Carbon and nutrient cycles. Journal of Soil and Water Conservation.
17. **DELGADO, J.A.;** M. Shaffer, C. Hu.; R. Lovado, J. Cueto Wong, P. Joosse, Sotomayor. 2006a. A decade of change in nutrient management requires and new tool: A new nitrogen index: Journal of Soil and Water Conservation.
18. **DEPARTAMENTO DE ORDENACIÓN DEL TERRETORIO Y MEDIO AMBIENTE.** 2004. Acidificación del Suelo. Argentina. Pp. 130-135.
19. **DFID,** 1998. Sustainable rural livelihoods: what contribution can we make?. Department for International Development. Oxford, UK. Pp. 20-32.
20. **DUARTE, M. y CAUSE, C.** 2001. Manual Práctico para la Conservación de los Suelos. La Habana - Cuba. Pp. 60- 67.
21. **ESPINOSA, J., AND F. MITE.** 2002. Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano, Pp. 397-407, *In* S. Belacazar, (ed.) XV Reunión Internacional ACORBAT. ACORBAT, Cartagena de Indias, Colombia.

- 22. ESPINDOLA, J.I.A.** Descomosião e liberacão de nutrientes acumulados en leguminosas hebáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista de Ciencia do Sólo**, v. 30, p.321-328, 2006
- 23. FAO**, 2008. Sistemas agroforestales en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. P. 222.
- 24. FLORA, C., EMERY, M., FEY, S., BREGENDAHL, C.** 2004. Community Capitals: A Tool for Evaluating Strategic Interventions and Projects. North Central Regional Center for Rural Development. Iowa State University.
- 25. GABELA, F y CÁRDENAS, J.** 1990. Control de Malezas en Maíz de la Sierra. Boletín divulgativo N° 105, Estación Experimental Santa Catalina INIAP. Quito. Pp. 1-5.
- 26. GARCÍA, F.** 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. Informaciones Agronómicas. Pp. 29:13-16.
- 27. GONZÁLEZ, M.** 2008. Caracterización socio económica y ambiental de los sistemas de producción en la subcuenca del río Chimbo. Tesis de grado para la obtención del título de ingeniera agroforestal. Universidad Estatal de Bolívar. P. 109
- 28. GIL, L.** 1991. Adaptación de una sembradora para labranza mínima. CIAE. Anzoátegui. FONAIAP. Caracas, Venezuela.
- 29. HANNAWAY, D. B.** and Ch. Larson 2004. Hairy Vetch (*Vicia villosa*Roth). http://forages.oregonstate.edu/fi/topics/fact_sheet_print_legume.cfmspecid41
- 30. HORWATH, W.** 1994, “Methods of Soil Analysis: Microbiological a Biochemical Properties”, Michigan State University, East Lansing, Michigan, Pp. 754- 761.
- 31. INIAP.** 2007. Informe Anual 1992, Programa de Maíz. Estación Experimental Santa Catalina. Quito. P. 25.
- 32. INFOAGRO.** 2008. Cultivo de Avena Forrajera. <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm>.

- 33. INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFATO.** 1997. Manual Internacional de la Fertilidad del Suelo. INPOFOS, Quito, Ecuador. sp.
- 34. ISRIC** 1995. (Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos). Procedimientos para análisis de suelos. *In:* L. P. van Reeuwijk (ed). Procedures for Soil Analysis. Ma. Del C. Gutiérrez C., C. A. Tavarez E. y A. Ortiz S. (trads.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- 35. LABRADOR, J.** 1997. La Materia Orgánica en los Agrosistemas. Ministerio de Agricultura y Pesca. Madrid. Pp. 173-181.
- 36. LEÓN, L.A.** 2001. Evaluación de la fertilidad del suelo. In Fertilidad de suelos: diagnóstico y control, 2º ed. por F.S. Silva, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. Pp. 155-183.
- 37. LYNCH J.P. Y BROWN K.** 2001. Topsoil foragingan architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant Soil*, Pp. 237:225-237
- 38. LORENZ, E.** 1999. Trust, Contract and Economic Cooperation. *Cambridge Journal of Economics*. Pp. 23: 301-15.
- 39. LORENZATTI, S, y J.ROMAGNOLI.** 2009. La evolución silenciosa de la siembra directa y el desafío de las rotaciones con cultivos de cobertura. Simposio Fertilidad 2009. IPNI.
- 40. MARTÍNEZ DE ANGUITA, P.** 2006. Desarrollo Rural Sostenible. Mc Gra Hill. Madrid, España. Pp. 237-246.
- 41. MARTÍNEZ, A., E. GONZÁLEZ., A HOLGADO.** 2001. Situación Actual de la Agricultura de Conservación. *Revista Agropecuaria*. Madrid-España. Ed. Agrícola Española. N° 831: 660
- 42. MEJÍA, L.** 2000. La Mineralogía del Suelo y sus Reacciones con la Fertilidad. Tegusigalpa- Honduras. Pp. 21- 28.
- 43. MEJÍA, T. y HUDUR, J.** 2003. Reducción de la Pobreza en las Zonas de la Ladera de Honduras. Pp. 180-190.
- 44. MENDOZA, J.** 1994. Guía para el Manejo de Insectos Plagas en Maíz en el Litoral Ecuatoriano. *Boletín divulgativo* N° 248 Estación Experimental Pichilingue. Pp. 2-17.

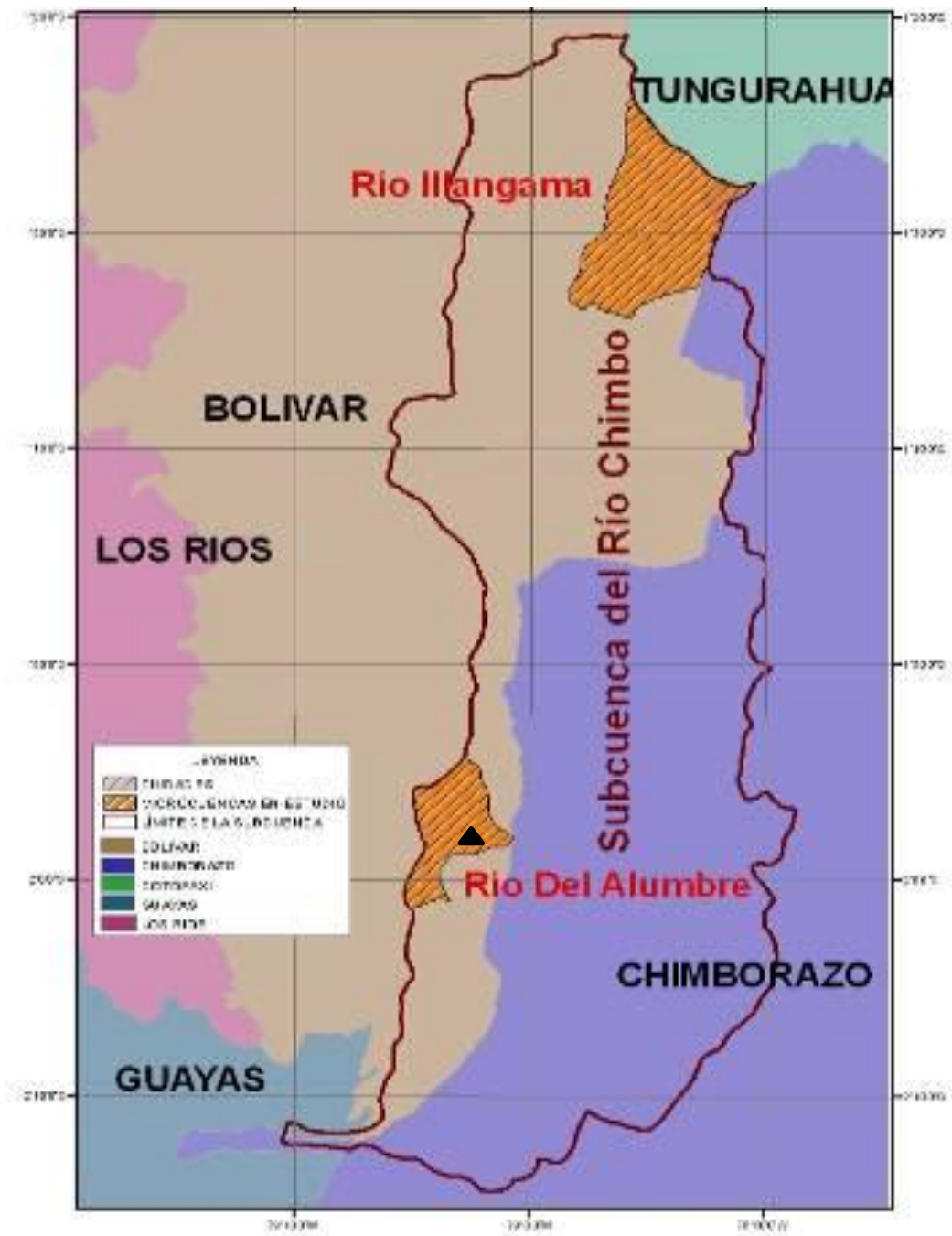
45. **MICHELENA, R.** 2003. Como Controlar la Erosión Hídrica para que no Destruya los Suelos. Honduras. Pp. 92-95.
46. **MONAR, C.** 2000. Informe Anual, Proyecto Integral noreste de Bolívar (PINEB).-INIAP-FEPP. Guaranda-Ecuador. P. 34.
47. **MONAR, C.** 2002. Informe Anual. Unidad de Validación y Transferencia de Tecnología-Bolívar. INIAP. Guaranda. Ecuador. P. 48.
48. **MONAR, C.** 2009. Informe Anual. Unidad de Validación y Transferencia de Tecnología-Bolívar. INIAP. Guaranda. Ecuador. P. 40.
49. **MORGAN, R.** 1996. Erosión y Conservación de Suelos. Ediciones Mundi prensa, España. P. 150.
50. **ORTEGA, A.** 1997. Insectos Nocivos del Maíz, una guía para su identificación en el campo. Programa de CIMMYT, México DF. Pp. 4-98.
51. **ORTEGA, J.** 2004. Caracterización socioeconómica y comportamiento poscosecha del sistema de producción de plátano en el departamento de Córdoba. 24 de mayo del 2007.
52. **ORTIZ, R.** 2008. Hidroponía en el suelo. Edición Abya-Yala. Quito-Ecuador. Pp. 34-38, 56-61.
53. **OSPINA, J.** 2002. Manual Agropecuario-Tecnología Orgánica de la Granja Integral Autosuficiente. Colombia. P: 917.
54. **PLASTER, E.** 2000. La Ciencia del Suelo y su Manejo. Madrid, España. 116 117, 125, 126, 127, 318-320, 269-273.
55. **PELÁ, A. AL.** 1999. Avaliagao da existencia a de composigao de de especies de plantas de cobertura visando o plantio direto. *In: Revista Plantio Direto*. Vol 53: 26. Brasil.
56. **PITTY, A.** 2002. Guía Fotográfica para la identificación de Malezas Parte 1. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. Pp. 35-70.
57. **PUTMAN, R.** 1993. Thepros perous community: social capital and publiclife. American Prospects, No. 13.

- 58. RODRÍGUEZ, F.** 1999. Manual de Conservación de Suelos. Universidad técnica de Ambato, Ambato-Ecuador. P. 66.
- 59. RIMSKI-KORSAKOV H, G. RUBIO Y R.S. LAVADO.**2004.Potential losses of nitrate by leaching in soils of the Pampas Argentina. Agricultural Water management. Pp. 65: 83-94.
- 60. RIMSKI-KORSAKOV, H., G. RUBIO Y R.S. LAVADO.**2007. Recuperación del nitrógeno aportado por fertilización en maíz. En: Isótopos estables en Agroecosistemas. Editor: Lázzari., M.A., Videla, C. Pp 47-52.
- 61. SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES.** 1990. El Cultivo de Maíz Dirección General de Agricultura, Departamento. de Investigación Agrícola, Departamento. Comunicación Agropecuaria, Boletín Técnico.
- 62. SHAFFER, M.J. and J.A. DELGADO.** 2002. Essentials of national nitrate leaching index assessment tool. Journal of Soil and Water Conservation.
- 63. SUQUILANDA, M.** 1996. La Agricultura Orgánica una alternativa viable para el establecimiento de sistemas productivos sustentables. Quito. Pp. 20-30.
- 64. TAYUPANTA, J. y CÓRDOVA, J.** 1990. Algunas Alternativas Agronómicas y Mecanismos para Evitar la Pérdida del Suelo. Publicación Miscelanes N° 54 INIAP. Santa Catalina. Ecuador. Pp. 1-28.
- 65. URBANO, P. Y URBANO, J.** 1997. Erosión y Conservación del suelo. España. Pp. 213-245.
- 66. VACA, E.** 1990. Estimación de la erosión hídrica y control mediante barreras de pasto en cultivo de maíz Tumbaco-Pichincha.. Tesis. Ing. Agr. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pp. 43 - 45.
- 67. VALVERDE F., RAMOS M., ESTRADA S., SILVA J., RUALES W., PARRAR.** 2004. Evaluación de sistemas de labranza de suelos y fertilización en la asociación maíz-fréjol voluble. Boletín Técnico No.121. Quito, Ecuador.
- 68. VIRTUAL.** 2008. Vicia sativa L.
<http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/abono>

- 69. VOGEL, A.** 2000. Causas, efectos y formas de erosión en suelos serranos. Manejo y Conservación de suelos: la degradación de los suelos y cambios históricos. CAMAREN. Quito (Ec). 106p.
- 70. VERISSIMO, L.** 1999. Enciclopedia Practica de la Agricultura y la Ganadería. Pp.309-314.
- 71. WITT, C.** 2004. Manejo de Nutrientes .Canadá. Pp. 1-45.
- 72. WOOLCOCK, M.** 1998. Social capital and economic development: toward a theoretical synthesis and policy framework. Theory and Society, No. 27.
72. <http://www.botanicalonline.com/rotaciondecultivos.htm>.
73. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/viciasativa/ficha.s/fic>
74. <http://www.fenalce.org/nueva/index.php>

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de la microcuenca del río Alumbre.



Localización de la microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.

Anexo 2. Bases de datos de la investigación.

TRATAMIENTOS EN ESTUDIO: DBCA

- T1 =** Labranza mínima, maíz duro con remoción y con fertilización
- T2 =** Labranza cero, maíz duro sin remoción y sin fertilización
- T3 =** Labranza cero, maíz duro con remoción y sin fertilización
- T4 =** Labranza cero, maíz duro sin remoción y sin fertilización

Variables Agronómicas											
Datos Agronomicos del cultivo de maíz duro									Peso de materia seca (Tm)		Peso seco maíz (Tm/Ha)
Rept.	Trat.	Rendimiento de Biomasa de Avena-vicia y P.n.		Análisis Química Foliar de la Av-Pn		% de emergencias	Profundidad radicular	Plantas acamada/Ha	plantas de maíz duro	Tusas secas de maíz duro	Rendimiento Tm/Ha
Repet.	Trat.	BM-Tm/Ha	MS-Tm/Ha	Kg/Ha/N	Kg/Ha/C	%E	PRM/cm	NPA/Ha	Tm/Ha	Tm/Ha	RMH/Tm
1	1	23	3.89	86.73	1992.39	87	90.5	520	4.06	0.85	4.72
1	2	16	3.01	77.84	1544.76	98	93	460	5.20	0.90	3.98
1	3	26	4.60	101.54	1786.54	97	83	480	5.00	0.71	3.79
1	4	31	5.17	137.62	2668.77	95	94.75	540	3.93	0.89	4.62
2	1	24	4.30	104.09	3009.23	97	88.15	640	4.94	0.84	4.74
2	2	24	4.06	118.74	3046.08	99	86	600	3.79	0.76	3.86
2	3	17	3.09	79.48	1872.20	98	91.5	440	3.56	0.91	3.89
2	4	18	3.10	64.83	1522.75	99	96.25	600	3.56	0.88	4.53
3	1	13	2.50	40.03	988.47	87	96.15	640	4.28	0.78	4.67
3	2	13	2.77	41.97	1095.48	98	82	460	5.26	0.92	4.03
3	3	16	3.07	89.89	1837.05	97	84	520	3.73	0.83	3.98
3	4	14	2.98	76.97	1339.40	95	91.25	560	4.52	0.84	4.34

Análisis Físicas del Suelo											
Primer muestreo antes de la siembra de maíz duro INIAP-176						Segundo muestreo despues de la cosecha de maíz duro INIAP-176					
Densidad a	Humedad g	Compactación del suelo				Densidad a	Humedad g	Compactación del suelo			
0-25 cm de Profundidad	0-25 cm de Profundidad	0cm-10cm Profundida	10cm-20cm Profundidad	20cm-30cm Profundidad	30cm-40cm Profundidad	0-25 cm de Profundidad	0-25 cm de Profundidad	0cm-10cm Profundida	10cm-20cm Profundidad	20cm-30cm Profundidad	30cm-40cm Profundidad
Dai	Hgi	0cm-10cm Ci	10cm-20cm Ci	20cm-30cm Ci	30cm-40cm Ci	Daf	Hgf	0cm-10cm Ci	10cm-20cm Ci	20cm-30cm Ci	30cm-40cm Ci
0,73	59,3	125	140	200	245	0,75	70,0	440	390	415	350
0,81	60,6	160	130	140	125	0,75	51,8	510	510	450	530
0,82	52,0	180	160	160	135	0,76	48,7	400	330	280	290
0,76	57,6	155	125	165	200	0,76	52,1	295	190	285	225
0,66	79,9	120	180	210	215	0,65	65,2	315	290	265	205
0,66	62,2	70	130	150	145	0,61	64,3	230	285	290	200
0,70	70,5	100	180	140	140	0,61	63,0	350	265	225	235
0,61	71,6	90	170	145	185	0,59	70,4	220	330	260	235
0,81	58,8	130	150	225	355	0,96	58,7	200	190	450	260
0,74	70,8	125	140	220	340	0,77	71,7	210	405	605	270
0,84	67,5	140	175	190	190	0,82	64,0	290	250	200	170
0,84	66,0	145	165	345	395	0,84	62,7	285	345	495	490

Análisis Químico de Suelos antes de la siembra de maíz duro INIAP - 176

A una profundidad de 0cm - 25cm

NT	COT	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺ *	NPM	Humedad	pH	CIC	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
%		ppm			%		meq/100g	meq/100ml						ppm			
NT:Kg/ha	COT:Kg/ha	N-NO ₃ :ppm	N-NH ₄ ⁺ :ppm	NPM:ppm	H:%	pH	CIC:meq/100g	P	S	K:meq/100ml	Ca:meq/100ml	Mg:meq/100ml	Zn:meq/100ml	Cu:ppm	Fe:ppm	Mn:ppm	B:ppm
64,12	520,0	46,5	47,2	44,2	56,3	5,70	17,2	11,0	7,4	1,10	11,70	2,5	1,30	23,2	290	22,8	0,6
57,75	520,0	56,1	67,8	21,6	63,8	5,82	17,2	10,0	8,1	0,84	13,90	2,7	2	21,4	312	31,6	0,8
52,07	470,0	68,2	62,5	61,5	58,4	5,77	16,4	8,1	5,1	1,10	10,60	2,4	1,10	23,6	268	20,6	0,8
91,17	540,0	40,7	42,0	50,7	57,7	5,82	17,8	11,0	8,9	0,79	12,70	2,3	1,30	20	322	26,4	1
43,02	620,0	85,0	63,0	48,6	60,3	5,72	16,2	9,0	9,1	0,64	11,00	1,9	1,50	17,2	334	22	1
57,05	640,0	65,2	47,1	37,2	64,2	5,81	16,1	10,0	7,4	0,46	10,30	1,8	1	17,8	188	11	0,6
64,11	620,0	66,6	66,6	47,9	66,2	5,79	16,6	6,1	6,5	0,75	10,90	1,9	1,10	15,8	236	13	0,6
77,55	700,0	75,8	56,6	44,7	71,7	5,81	16,5	5,4	7,0	0,50	10,30	2,0	1,10	14,8	190	9,2	1
55,34	680,0	65,4	66,2	34,8	70,8	5,88	17,0	9,4	7,4	0,30	11,70	1,2	0,90	9,4	372	41,2	0,8
67,12	780,0	61,0	60,6	16,5	65,2	5,81	17,5	14,0	8,1	0,36	13,90	1,6	4,70	7,4	386	21	0,8
63,49	740,0	69,8	54,3	63,6	70,4	5,88	17,5	12,0	8,0	0,29	14,00	1,5	3	6,6	282	14,8	1
82,46	740,0	43,5	76,6	8,6	67,3	5,82	16,0	11,0	8,9	0,30	13,10	1,3	1,20	8,2	300	16,6	1

Análisis Químico de Suelos 160 días						Análisis Químico de Suelos 220 días						
A una profundidad de 0cm - 25cm						A una profundidad de 0cm - 25cm						
NT	COT	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺ *	NPM	Humedad	NT	COT	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺ *	NPM	Humedad	
%		pmm				%	%		pmm			%
NT:Kg/ha	COT:Kg/ha	N-NO ₃ ⁻ :Kg/ha	N-NH ₄ ⁺ :Kg/ha	NPM:Kg/ha	H:%	NT:Kg/ha	COT:Kg/ha	N-NO ₃ ⁻ :Kg/ha	N-NH ₄ ⁺ :Kg/ha	NPM:Kg/ha	H:%	
46,33	500,0	60,0	53,8	16,6	68,0	44,91	535,0	39,8	43,0	39,6	42,8	
34,17	480,0	42,0	59,2	62,7	71,7	24,24	557,0	62,8	50,3	25,8	46,1	
30,75	440,0	53,7	32,5	54,1	69,0	22,80	460,0	57,0	49,5	13,8	46,7	
35,91	520,0	37,2	46,3	43,5	74,6	32,05	592,0	87,1	63,7	10,0	48,9	
47,91	550,0	38,0	46,0	55,0	86,1	29,63	656,0	101,7	54,2	31,9	53,1	
43,00	610,0	46,9	53,1	67,7	88,7	41,46	678,0	54,4	45,4	7,0	59,1	
50,90	510,0	35,9	44,6	45,2	81,2	29,68	680,0	53,4	53,6	13,1	56,5	
53,13	650,0	31,7	47,0	103,7	89,2	44,38	744,0	90,1	54,5	6,4	59,1	
54,00	660,0	42,0	57,2	16,0	79,9	45,77	712,0	65,8	52,4	24,4	41,4	
61,66	710,0	22,6	52,5	44,7	76,1	50,61	818,0	77,0	54,4	2,0	65,9	
54,89	690,0	19,1	42,5	43,9	86,7	53,34	768,0	37,1	55,9	14,5	46,3	
56,98	640,0	33,4	46,0	35,2	86,1	34,98	735,0	68,2	62,7	74,5	51,7	

Concentración de nutrientes en la planta de maíz duro INIAP-176

NT	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
%						pmm				
NT-Kg/ha	P-Kg/ha	K-Kg/ha	Ca-Kg/ha	Mg-Kg/ha	S-Kg/ha	B-Kg/ha	Zn-Kg/ha	Cu-Kg/ha	Fe-Kg/ha	Mn-Kg/ha
28.39	1.86	47.70	9.73	5.68	2.43	0.02	0.55	0.60	12.48	0.65
25.48	9.53	73.00	8.84	6.76	3.64	0.01	0.62	0.70	11.73	0.73
31.51	2.29	66.62	10.00	7.50	4.50	0.01	0.72	0.55	8.17	0.85
21.98	2.70	44.28	8.64	8.64	4.32	0.02	0.43	0.60	10.30	0.39
44.92	2.26	42.65	11.85	7.90	2.96	0.02	0.52	0.58	9.36	0.78
23.87	1.74	40.01	8.71	6.82	1.89	0.01	0.72	0.62	7.49	0.50
19.91	4.07	32.00	5.69	5.33	2.13	0.01	0.60	0.42	4.40	0.27
19.92	2.44	52.51	7.47	6.05	2.85	0.28	0.60	0.60	5.81	0.49
23.98	0.98	54.99	12.42	4.71	2.14	0.21	0.30	0.42	12.42	0.47
18.42	2.41	70.12	12.63	5.26	3.16	0.25	0.63	0.60	9.04	0.72
20.90	1.71	40.76	8.96	4.48	2.61	0.03	0.49	0.49	9.22	0.36
18.97	2.07	95.93	9.03	3.61	3.61	0.03	0.45	0.40	7.25	0.84

Concentración de nutrientes en el grano de maíz duro INIAP-176

NT	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
%						pmm				
NT-Kg/ha	P-Kg/ha	K-Kg/ha	Ca-Kg/ha	Mg-Kg/ha	S-Kg/ha	B-Kg/ha	Zn-Kg/ha	Cu-Kg/ha	Fe-Kg/ha	Mn-Kg/ha
68.91	28.10	18.69	4.72	6.14	4.25	0.17	1.01	0.55	2.59	0.77
47.36	33.72	22.45	3.98	5.97	3.58	0.14	1.00	0.57	2.12	0.68
52.68	22.57	18.19	4.17	4.55	3.03	0.11	0.88	0.51	2.30	0.71
70.69	30.68	19.40	4.62	6.47	3.23	0.22	1.00	0.53	3.73	0.88
65.89	23.88	15.93	5.69	5.69	3.32	0.39	1.20	0.52	2.88	0.77
53.65	24.75	13.90	4.63	5.40	2.70	0.40	0.95	0.58	3.44	0.64
67.69	22.27	13.54	5.06	5.84	3.50	0.27	0.64	0.71	2.59	0.60
50.74	22.82	14.13	6.34	6.34	3.62	0.53	1.19	0.56	3.51	0.63
74.72	28.87	16.81	29.42	9.34	4.20	0.67	1.39	0.78	4.47	0.72
53.20	23.99	14.51	19.75	1.01	2.82	0.47	0.91	0.69	2.32	0.54
55.32	21.87	14.33	17.11	8.36	2.79	0.21	0.82	0.67	3.37	0.59
51.65	30.81	18.23	17.36	8.68	2.60	0.36	1.43	0.87	3.43	0.68

Concentración de nutrientes en el Tuza de maíz duro INIAP-176

NT	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
%						pmm				
NT-Kg/ha	P-Kg/ha	K-Kg/ha	Ca-Kg/ha	Mg-Kg/ha	S-Kg/ha	B-Kg/ha	Zn-Kg/ha	Cu-Kg/ha	Fe-Kg/ha	Mn-Kg/ha
25.42	15.24	18.00	8.83	7.44	3.94	0.11	0.95	0.64	6.05	0.96
31.00	19.00	11.00	7.80	8.09	4.78	0.05	1.23	0.50	11.27	1.03
28.89	11.99	16.00	10.27	9.14	3.21	0.12	0.77	0.44	6.53	1.06
32.60	18.99	14.00	12.07	8.99	3.07	0.06	0.72	0.19	2.17	0.57
36.61	16.08	16.24	7.27	9.32	4.07	0.06	1.11	0.99	2.88	0.43
27.00	15.94	15.00	6.61	7.79	4.17	0.11	0.91	0.58	13.79	0.44
31.00	15.55	20.00	14.55	9.37	6.38	0.03	1.63	0.74	3.60	0.57
37.57	16.90	19.00	16.00	11.45	7.38	0.15	1.71	0.62	12.49	2.65
39.00	19.79	12.00	9.79	8.15	8.83	0.09	1.44	0.87	11.73	0.89
45.47	16.47	19.00	5.98	6.03	5.84	0.11	0.64	0.38	3.72	0.52
36.31	14.97	23.00	12.98	6.88	6.64	0.06	1.57	0.70	4.23	0.76
47.71	18.51	13.00	12.26	9.42	5.98	0.16	1.53	0.54	13.20	1.23

Anexo 3. Fotos del seguimiento y evaluación del ensayo.

T1: Pasto natural con remoción



T2: Pasto natural sin remoción



T3: Avena-vicia con remoción



T4: Avena-vicia sin remoción



Siembra de maíz duro en labranza mínima



Siembra de maíz duro en labranza cero



Evaluación de emergencia en labranza mínima



Evaluación de emergencia en labranza cero



T1: Aplicación de urea,



Aplicación de insecticida



Seguimiento de la investigación



Seguimiento de la investigación



Visita de los Miembros de Tribunal de Tesis



Visita de los Técnicos de INIAP



Día de campo



Día de campo



Anexo 4. Glosario de términos técnicos.

Abono verde.- Es una práctica que consiste en cultivar plantas, leguminosas o gramíneas luego son incorporados al suelo en etapa verde, sin previa descomposición, con el propósito es mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

Análisis químico de suelo.- Es una actividad previa a la preparación del suelo. Sirve para determinar la cantidad de nutrientes que tiene el suelo disponible para las plantas. Para la toma de muestras se recomienda lo siguiente.

Barreras vivas.- Hileras de plantas de denso crecimiento que se siembran siguiendo las curvas a nivel.

Compactación.- Endurecimiento de suelo

Característica de tierra (LC).- Propiedad de tierra que puede ser directamente medida o estimada.

Suelo.- Es un recurso natural renovable de importancia básica para la vida sobre la tierra. Es la fuente de vida de las plantas, animales y la especie humana.

Labranza mínima.- Practica de manejo de suelo que consiste en arar lo menos posible.

Labranza convencional.- Involucra la inversión del suelo, normalmente con el arado de vertedera o el arado de discos como labranza primaria, seguida por labranzas secundarias con la rastra de discos.

Escorrentía.- Movimiento superficial de aguas continentales no encauzadas a favor de la pendiente. La forma de movimiento del agua puede ser laminar, turbulenta o de arroyada.

Fertilización.- Tipo de sustancia o mezcla química natural o sintética utilizada para enriquecer el suelo y favorecer el crecimiento vegetal.

Sistema de manejo.- Sistema integrado por los aspectos de suelo, cultivo, malas hierbas, plagas y enfermedades, capaz de transformar la energía solar, agua, nutrientes, labores y otros insumos en alimentos, piensos, combustibles o fibras. El sistema de manejo equivale a un subsistema del sistema de explotación.

Optimizar.- Es la mejor manera de realiza una actividad.

Sistema de producción.- Conjunto particular de actividades (sistema de manejo) desarrolladas para producir una serie definida de productos o beneficios.

Tipo de suelos.- Unidad específica de suelo con un definido rango de características. Puede corresponder a la más baja categoría de un sistema de clasificación taxonómica, incluyendo especificaciones de fase.

Uso sostenible de tierras.- Uso de tierras que no degrada progresivamente su capacidad productiva para un fin determinado

Macronutrientes.- Son requeridos por las plantas en cantidades mayores y se dividen en dos grupos: primarios y secundarios. En los primarios se encuentran: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Entre los secundarios están: calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).

Micronutrientes.- Son requeridos por las plantas en pequeñas cantidades pero necesarias para su desarrollo: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), boro (B) y cloro (Cl).