

**INFLUENCIA DE DOS SISTEMAS DE LABRANZA VERTICAL Y EL SISTEMA
DE GUACHADO SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DE UN SUELO
DE LADERA, BAJO EL CULTIVO DE PAPA (Diacol capiro),
EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO, COLOMBIA.**

**MARY LUZ DESCANCE VALLEJO
DAIRA DIAZ MUÑOZ**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar
El título de INGENIERO AGRÓNOMO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
PASTO-COLOMBIA
2005**

**INFLUENCIA DE DOS SISTEMAS DE LABRANZA VERTICAL Y EL SISTEMA
DE GUACHADO SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DE UN SUELO
DE LADERA, BAJO EL CULTIVO DE PAPA (*Diacol capiro*), EN EL
DEPARTAMENTO DE NARIÑO, COLOMBIA.**

**MARY LUZ DESCANCE VALLEJO
DAIRA DIAZ MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
PASTO-COLOMBIA
2005**

Dedico a:

A ti Señor por que fuiste tu mi maestro, me ceñiste de poder y cuidaste de mi como a la niña de tus ojos, entregaste de tu sabiduría que es mejor que las piedras preciosas y me hiciste esforzada y valiente.

A mamá por su gran amor y ese apoyo incondicional que me entrego para que yo pudiera culminar esta carrera.

A papa, a mi hermano Jairo, a mis hermanas Angela y Ximena quienes estuvieron cerca de mi y fueron un apoyo en mi vida.

A mi hermana Jessica y a mi sobrino Felipe quienes con su ternura y su amor en mis momentos difíciles sacaron una sonrisa de mis labios.

MARY LUZ DESCANCE VALLEJO

Dedico a:

A Dios por su amor incondicional y por su ayuda.

A mi mamá a la persona más importante de mi vida por su amor, afecto y apoyo con el que hizo posible que uno de mis sueños se haga realidad.

A mi papá, a mi hermana, a mi hermano y a mi sobrino quienes con su gran amor llenaron mi vida de alegría.

A Luis Rosendo por brindarme amor y paciencia y estar cerca de mí.

DAIRA DIAZ MUÑOZ

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1º del acuerdo N° 323 de octubre 11 de 1996, emana del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Luis Alberto Peña Villamil
Presidente de tesis

Marino Rodríguez Rodríguez
Jurado

Jesús Castillo Franco
Jurado

Bayardo Yépez Chamorro
Jurado

San Juan de Pasto, 10 de octubre del 2005

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A La VIPRI Vicerrectoria de Investigaciones, postgrados y relaciones internacionales

LUIS ALBERTO PEÑA VILLAMIL. Director de Corpoica C.I Obonuco-Pasto.

HUGO RUIZ ERAZO. Ingeniero Agrónomo M.Sc. Docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.

MARINO RODRÍGUEZ RODRIGUEZ. Ingeniero Agrónomo. M.Sc.

JESÚS CASTILLO FRANCO. Ingeniero Agrónomo. Ph.D en Suelos Docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.

BAYARDO YEPES CHAMORRO. Ingeniero Agrónomo Corpoica C.I Obonuco-Pasto.

CESAR ALBORNOZ JURADO. Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Nariño.

ALVARO CASTILLO MARIN. Ingeniero Agrónomo Especialista en Ecología. Secretario administrativo de la Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.

IVONNE ESTRELLA AYTE. Ingeniera Agrónoma. Funcionaria de Multiagro.

A todas aquellas personas que contribuyeron de una u otra forma en la realización del presente trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, municipio de Pasto que se encuentra ubicada a 2960 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 12°C, humedad relativa del 73% y una precipitación promedio de 900mm anuales, en un suelo Inceptisol con una pendiente del 35% de origen volcánico.

La investigación se llevó a cabo entre los meses de diciembre del 2003 a julio del 2004, cuyo objetivo fue evaluar la influencia de dos sistemas de labranza vertical y el sistema de guachado sobre algunas propiedades físicas; densidad aparente, densidad real, conductividad hidráulica, distribución de poros, porosidad, estabilidad de agregados, penetrabilidad, erosión a través del microrelievimetro, y algunas variables agronómicas; porcentaje de emergencia, profundidad radical efectiva, incidencia de *Phytophthora infestans* y producción en ton/ha en un suelo de ladera, bajo el cultivo de papa *Diacol capiro*.

Se trabajó con un diseño de bloques al azar con tres tratamientos: Tratamiento 1 o arado de cincel, Tratamiento 2 o arado de chuzo y Tratamiento 3 o guachado con tres repeticiones por tratamiento; los resultados que se obtuvieron se interpretaron estadísticamente de acuerdo con los análisis de varianza.

Los resultados obtenidos en la investigación para propiedades físicas y agronómicas mostraron que no hubo efecto de los tres sistemas de labranza, debido al trabajo a corto plazo, al origen del suelo proveniente de materiales alofanicos y a la alta estabilidad del suelo dadas las condiciones óptimas, con alto contenido de materia orgánica de tal manera que no es fácilmente alterado por la preparación; sobre aspectos agronómicos del cultivo de papa se presentaron diferencias en producción de papa clasificada como de primera, obteniéndose una mayor producción de papa de primera en el arado de chuzo, aunque la producción total fue similar.

ABSTRACT

The present work one carries out in the Botana Experimental Snack of the University of Nariño, municipality of Grass that is located 2960 m.s.n.m, with a temperature average of 12°C, relative humidity of 73% and an annual precipitation average of 900mm, in a floor Inceptisol with a slope of 35% of volcanic origin.

The investigation you carries out among the months of December from the 2003 to July of the 2004 whose objective was to evaluate the influence of two systems of vertical farm and the guachado system about some physical properties; apparent density, real density, hydraulic conductivity, distribution of pores, porosity, stability of attachés, penetrability, erosion through the microrelievimetro, and some agronomic variables; emergency percentage, effective radical depth, incidence of *Phytophthora infestans* and production in ton/ha in a hillside floor, under the cultivation of potato *Diacol capiro*.

One works at random with a design of blocks with three treatments: Treatment 1 or chisel plow, Treatment 2 or chuzo plow and Treatment 3 or guachado with three repetitions for treatment; the results that they were obtained they were interpreted statistically of agreement with the variance analyses.

The results obtained in the investigation for physical and agronomic properties showed that there was not effect of the three farm systems, due to the short term work besides being a floor Inceptisol with a given high stability the good conditions, with high content of organic matter in such a way that is not easily altered by the preparation, and have more than enough agronomic aspects of the potato cultivation you presents differences in potato production classified as of first, being obtained a bigger production of potato of first in the chuzo plow, although the total production was similar.

GLOSARIO

LABRANZA: Es la practica mediante la cual, se acondiciona el suelo desde el punto de vista físico, químico y biológico para el desarrollo de los cultivos.

GUACHADO: Viene del quechua wachay que significa campo de cultivo formado con cespedones cortados y doblados para formar guachos.

EROSION: Es el proceso de desprendimiento y arrastre de la capa superficial de los terrenos por la acción de agentes llamados erosivos.

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA: Velocidad con la cual pasa el agua a través de una masa de suelo por unidad de gradiente de carga hidráulica y nos indica la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua.

MICRORELIEVIMETRO: Aparato que permite mediante evaluaciones sucesivas (mensuales, semestrales etc.), medir los cambios en la microtopografía del terreno y relacionarlos como lamina de suelo perdido en el periodo considerado.

PERMEABILIDAD: capacidad que tiene un suelo para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna, se dice que un suelo es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado.

INFILTRACION: es la habilidad que tiene un suelo para permitir el paso del agua en forma vertical a través del mismo.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| INTRODUCCION | 17 |
| 1. REVISIÓN DE LITERATURA | 19 |
| 1.1 GENERALIDADES | 19 |
| 1.2 Efecto de la labranza sobre algunas propiedades físicas | 20 |
| 1.3 LABRANZA | 29 |
| 1.4 DEGRADACION DE LOS SUELOS | 34 |
| 1.5. LA EROSION | 36 |
| 1.5.1 EL MICRORELIEVIMETRO | 37 |
| 2. METODOLOGÍA | 38 |
| 2.1 LOCALIZACION | 38 |
| 2.2 DISTRIBUCION DE TRATAMIENTOS | 38 |
| 2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL | 38 |
| 2.4 PROPIEDADES FISICAS EVALUADAS | 40 |
| 2.4.1 DENSIDAD APARENTE (g/cc) | 40 |
| 2.4.2 DENSIDAD REAL (g/cc) | 40 |
| 2.4.3 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (cm/hora) | 40 |
| 2.4.4 DISTRIBUCION DE POROS | 41 |
| 2.4.5 ESTABILIDAD DE AGREGADOS | 41 |
| 2.4.6 POROSIDAD TOTAL (%) | 41 |
| 2.4.7 RETENCION DE HUMEDAD | 42 |
| 2.4.8 PENETRABILIDAD | 42 |
| 2.5 FRECUENCIAS DE MUESTREO | 42 |
| 2.5.1 Muestras de variables Físicas | 42 |
| 2.5.2 Muestras para Análisis Químico | 42 |
| 2.5.3 Muestreo para desplazamiento del suelo con Microrelievimetro | 42 |
| 2.5.4 Muestreo Variables Agronómicas. | 42 |
| 2.6 ANALISIS ECONOMICO | 42 |
| 3. RESULTADOS | 43 |
| 3.1 Densidad Aparente | 43 |
| 3.1.1 Densidad Aparente primera evaluación | 43 |
| 3.1.2 Densidad aparente segunda evaluación | 44 |
| 3.2 Densidad Real | 45 |

| | | |
|--------|---------------------------------------------------|----|
| 3.2.1 | Densidad real primera evaluación | 45 |
| 3.2.2 | Densidad real segunda evaluación | 45 |
| 3.3 | CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (cm/hora) | 47 |
| 3.3.1 | Conductividad hidráulica primera evaluación | 47 |
| 3.3.2 | Conductividad hidráulica segunda evaluación | 48 |
| 3.4 | CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD | 48 |
| 3.4.1 | Curvas de retención de humedad primera evaluación | 48 |
| 3.4.2 | Curvas de retención de humedad segunda evaluación | 49 |
| 3.5 | DISTRIBUCION DE POROS | 50 |
| 3.5.1 | Macroporos primera evaluación | 50 |
| 3.5.2 | Macroporos segunda evaluación | 50 |
| 3.5.3 | Mesoporos primera evaluación | 51 |
| 3.5.4 | Mesoporos segunda evaluación | 51 |
| 3.5.5 | Microporos primer evaluación | 52 |
| 3.5.6 | Porcentaje de Microporos segunda evaluación | 53 |
| 3.6 | ESTABILIDAD DE AGREGADOS | 54 |
| 3.6.1 | Estabilidad de agregados primera evaluación | 54 |
| 3.6.2 | Estabilidad de agregados segunda evaluación | 54 |
| 3.7 | POROSIDAD TOTAL (%) | 56 |
| 3.7.1 | Porosidad total primera evaluación | 56 |
| 3.7.2 | Porosidad total segunda evaluación | 57 |
| 3.8 | PENETRABILIDAD Mpa | 58 |
| 3.8.1 | Resistencia a la penetración primera evaluación | 58 |
| 3.8.2 | Resistencia a la penetración segunda evaluación | 58 |
| 3.9.1 | Desplazamiento de suelo en los tres tratamientos | 60 |
| 3.10 | VARIABLES AGRONOMICAS | 62 |
| 3.10.1 | Porcentaje de emergencia | 62 |
| 3.10.2 | Profundidad radical | 63 |
| 3.10.3 | Gota (Phytophthora infestans) | 64 |
| 3.10.4 | Producción (Ton/Ha) | 64 |
| 4. | ANALISIS ECONOMICO | 67 |
| 5. | CONCLUSIONES | 68 |
| 6. | RECOMENDACIONES | 69 |
| | BIBLIOGRAFIA | 70 |
| | ANEXOS | 77 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1. Distribución de tratamientos y plan de muestreo en cada bloque del área de investigación. | 39 |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Cuadro 1. Variables físicas evaluadas y metodologías utilizadas | 40 |
| Cuadro 2. Densidad aparente primera evaluación en gr/cm | 43 |
| Cuadro 3. Densidad aparente segunda evaluación en gr/cm | 45 |
| Cuadro 4. Densidad real primera evaluación en gr/cm | 45 |
| Cuadro 5. Densidad real segunda evaluación en gr/cm. | 46 |
| Cuadro 6. Conductividad hidráulica primer evaluación (cm) | 47 |
| Cuadro 7. Conductividad hidráulica segunda evaluación (cm) | 48 |
| Cuadro 8. Porcentaje de humedad primera evaluación | 49 |
| Cuadro 9. Porcentaje de humedad segunda evaluación | 49 |
| Cuadro 10. Porcentaje de macroporos primera evaluación | 50 |
| Cuadro 11. Porcentaje de macroporos segunda evaluación | 51 |
| Cuadro 12. Porcentaje de mesoporos primera evaluación | 51 |
| Cuadro 13. Porcentaje de mesoporos segunda evaluación | 52 |
| Cuadro 14. Porcentaje de microporos primera evaluación | 53 |
| Cuadro 15. Porcentaje de Microporos segunda evaluación | 53 |
| Cuadro 16. Estabilidad de agregados primera evaluación (Dmp-mm) | 54 |
| Cuadro 17. Estabilidad de agregados segunda evaluación (Dmp-mm) | 56 |
| Cuadro 18. Porosidad total primera evaluación (%) | 56 |
| Cuadro 19. Porosidad total segunda evaluación (%) | 58 |
| Cuadro 20. Resistencia a la penetración primera evaluación (Mpa) | 58 |
| Cuadro 21. Resistencia a la penetración segunda evaluación (Mpa) | 60 |
| Cuadro 22. Desplazamiento de suelo en los tres tratamientos (cm) | 63 |
| Cuadro 23. Porcentaje de emergencia de papa Diacol capiro en los tres tratamientos | 63 |
| Cuadro 24. Profundidad radicular (cm) en los tres tratamientos | 64 |
| Cuadro 25. Porcentaje Gota (<i>Phytophthora infestans</i>) para los tres tratamientos | 64 |
| Cuadro 26. Producción de papa de primera en Ton/ha | 66 |
| Cuadro 27. Producción de papa de segunda en Ton/ha | 66 |
| Cuadro 28. Producción de papa richie en Ton/ha | 66 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Anexo A. Análisis de suelos | 78 |
| Anexo B. Análisis de varianza densidad aparente primera evaluación | 80 |
| Análisis de varianza para la densidad aparente segunda evaluación | |
| Anexo C. Análisis de varianza para la densidad real primera evaluación | 81 |
| Análisis de varianza para la densidad real segunda evaluación | |
| Anexo D. Análisis de varianza conductividad hidráulica primera evaluación | 82 |
| Análisis de varianza para conductividad hidráulica segunda evaluación | |
| Anexo E. Análisis de varianza porcentaje de humedad primer evaluación | 83 |
| Análisis de varianza para el porcentaje de humedad segunda evaluación | |
| Anexo F. Análisis de varianza porcentaje macroporos primera evaluación | 84 |
| Análisis de varianza para el porcentaje de macroporos segunda evaluación | |
| Anexo G. Análisis de varianza porcentaje mesoporos primera evaluación | 85 |
| Análisis de varianza porcentaje de mesoporos segunda evaluación | |
| Anexo H. Análisis de varianza porcentaje microporos primera evaluación | 86 |
| Análisis de varianza porcentaje microporos segunda evaluación | |
| Anexo I. Análisis de varianza para estabilidad agregados primera evaluación (Dmp-mm) | 87 |
| Análisis de varianza estabilidad agregados segunda evaluación (Dmp-mm) | |
| Anexo J. Análisis de varianza porosidad total primera evaluación (%) | 88 |
| Análisis de varianza para porosidad total segunda evaluación (%) | |
| Anexo K. Análisis de varianza para resistencia contra la penetración primera evaluación (Mpa) | 89 |
| Análisis de varianza resistencia contra la penetración segunda evaluación (Mpa). | |
| Anexo L. Análisis de varianza para desplazamiento en los tres tratamientos (cm) | 90 |
| Anexo M. Análisis de varianza para el porcentaje de emergencia | 91 |
| Anexo N. Análisis de varianza profundidad radical primera evaluación(cm) | 92 |
| Análisis de varianza para profundidad radical segunda evaluación (cm) | |
| Anexo O. Análisis de varianza para Phythophthora infestans en los tres tratamientos (%) | 93 |
| Anexo P. Análisis de varianza de costos de producción de papa Diacol capiro en los tres tratamientos (ton/ha) | 94 |
| Anexo Q. Costos de producción de papa (Diacol capiro) con el T1 | 95 |
| Anexo R. Costos de producción de papa (Diacol capiro) con el T2 | 96 |
| Anexo S. Costos de producción de papa (Diacol capiro) con el T3 | 97 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1. Rangos para interpretar la estabilidad con relación al diámetro ponderado medio (DMP). | 56 |
| Tabla 2. Valores para calificar la resistencia. | 60 |
| Tabla 3. Ingreso neto del cultivo de papa Diacol capiro para cada uno de los tratamientos. | 67 |

INTRODUCCION

Más del 70% del área total cultivada en papa, en el país, se explota en zonas de ladera y minifundio bajo el sistema manual, empleando patrones de preparación del suelo inadecuados desde el punto de vista económico y restrictivo en cuanto a las posibilidades de uso de prácticas de conservación de suelo, y aún el 100% de los suelos dedicados a la explotación agropecuaria en Nariño se encuentran en proceso acelerado de degradación por erosión y/o alteración de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, el proceso se agrava debido al conflicto del uso persistente de tecnologías no apropiadas.¹

Menciona Amezcuita, que dentro de los procesos de degradación física de suelos, hay dos, que están disminuyendo drásticamente la capacidad productiva de las tierras del país: la erosión en las zonas de ladera y la pérdida de estructura acompañada de compactación subsuperficial en las áreas de agricultura intensiva.

Los sistemas de labranza convencional predominantes en la región andina y especialmente en los terrenos de ladera son causa del deterioro químico y físico del suelo por pérdida paulatina de la capa arable debido a procesos de erosión al dejar expuestas las partículas constitutivas del mismo al impacto del agua lluvia, al eliminar la vegetación y los residuos que reducen la velocidad del agua de escorrentía. Por otra parte el alto número de operaciones de preparación del suelo trae un incremento de los costos de producción que afectan la obtención de cosechas económicamente favorables para el agricultor.

Las prácticas culturales convencionales en el manejo de los suelos han venido siendo revaluadas, debido a los efectos negativos que pueden causar sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos esto ha llevado a explorar alternativas de manejo como son las prácticas de labranza conservacionista que en suelos degradados mejoran sus condiciones y, en aquellos poco o nada intervenidos, permiten mantener sus propiedades.

Por tanto García, menciona que se hace necesario buscar los puntos de unión entre las disciplinas llamadas tradicionales y los nuevos paradigmas de la agricultura con el propósito de clarificar el panorama y darle al agricultor herramientas para su actividad económica que contribuyan al crecimiento del sector agropecuario, al mejoramiento de las condiciones socioeconómicas de los productores y al mantenimiento y, aún, mejoramiento de la capacidad productiva del recurso suelo.

¹ FLOREZ, A. Mecanización en el cultivo de la papa en ladera. Revista ICA. Colombia. Vol. 20. N° 4: 1985. p. 264-270.

Cifuentes, menciona que al principio de la década de los 90 algunos agricultores de la zona norte del valle del Cauca en suelos derivados de cenizas volcánicas, empezaron a manejar la labranza de conservación en cultivos de rotación como una respuesta efectiva a los problemas graves de degradación de los suelos. Iniciaron con siembra directa y hoy día están evaluando alternativas con implementos agrícolas diferentes a los convencionales con el objetivo de solucionar problemas de adensamiento de los suelos y volver a restituir la materia orgánica perdida.

Los procesos de pérdida de estructura, compactación y encroscamiento superficial, están íntimamente asociados con el uso indiscriminado y excesivo de implementos de labranza.

Por lo tanto se ha planteado en este trabajo los siguientes objetivos:

- Determinar la influencia de dos sistemas de labranza vertical y el sistema de Guachado sobre algunas propiedades físicas de un suelo de ladera bajo el cultivo de papa (Diacol capiro).
- Evaluar los cambios producidos por los sistemas de Guachado y Labranza Vertical en un suelo de ladera bajo el cultivo de papa Diacol capiro sobre algunas propiedades físicas de un suelo como: densidad aparente, densidad real, porosidad, penetrabilidad, distribución porcentual de poros, estabilidad de agregados al agua, conductividad hidráulica saturada.
- Analizar la influencia de los sistemas de labranza vertical y el sistema Guachado en papa Diacol capiro en cuanto a algunas propiedades agronómicas: porcentaje de emergencia, profundidad radical efectiva, incidencia de *Phytophthora infestans* y rendimiento, producción por hectárea y calidad, calificando el número de tubérculos de primera, segunda y tercera categoría.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 GENERALIDADES

En muchas regiones el hombre ha inducido la erosión y la degradación de los suelos debido al mal uso del recurso, la crisis de alimento-población-medio ambiente que enfrenta el mundo actual, se relaciona, con el abuso a que se han sometido los recursos naturales dentro de los cuales el suelo constituye uno de los más importantes.²

Es así que el suelo esta perdiendo su uso productivo en forma alarmante se estima que mas de 450 millones de hectáreas cultivadas han sido gravemente degradadas, lo que ha obligado a que cada vez mas agricultores se organicen para la recuperación y mantenimiento del recurso suelo, principalmente en América mas de 58 millones de hectáreas de tierras cultivadas se encuentran bajo labranza cero.³

En la zona productora de papa en el departamento de Nariño, es muy común observar el proceso erosivo al cual se llevan los suelos de ladera debido en gran parte al manejo tradicional o convencional del tipo de labranza que se efectúa, generalmente con arado de disco o vertedera complementada con una labranza secundaria con rastrillo, esto hace que la poca capa productiva del suelo en las partes altas se desplace con el tiempo aflorando en muchas ocasiones el horizonte B, en estos sectores; estos fenómenos los discute la FAO llegando a la conclusión de que la acción erosiva por parte del agua se da cuando el suelo es incapaz de tener una buena aceptación de agua en su perfil, lo que origina una rápida escorrentía.⁴

Por tanto se hace necesario que el manejo de los suelos en Nariño por parte de los agricultores conserve el equilibrio dentro de la relación agua-suelo-planta-atmósfera, dinámica que debería estar en equilibrio, pero se rompe con la mala utilización de estos suelos de ladera de naturaleza estructural muy frágil.⁵

² MONTENEGRO, G. y MALAGÓN, D. Propiedades físicas de los suelos. Bogota. Colombia. IGAC 1990. p. 22-28.

³ WWW. fao.org, 2003. FAO. Agricultura de conservación. Estados Unidos.

⁴ WWW. fao.org . Ibid., p. 67.

⁵ FLOREZ, Op. Cit., p.264.

Además la inadecuada preparación de suelos en la explotación de papa no solo en Nariño sino en Colombia en general ha conducido a la compactación y degradación de los mismos convirtiéndose en suelos improductivos y erosionados haciéndose necesario un buen manejo y preparación de estos para mejorar los aspectos de fertilidad natural, reestablecimiento de condiciones físicas e incremento de la actividad biológica.⁶

1.2 EFECTO DE LA LABRANZA SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Los valores de las principales propiedades físicas (porosidad, capacidad de retención, aireación, distribución del tamaño de partículas, micro estructura y composición estructural) caracterizan capas individuales del suelo que no dan una idea del estado físico del perfil completo, por que la relación entre propiedades y la interacción entre horizontes individuales están pobremente establecidas o son enteramente desconocidas.⁷

Las prácticas de labranza influyen en todas las condiciones físicas del suelo, por ejemplo, el laboreo excesivo causa erosión, compactación, pérdida de agua del suelo, mala estructura y deterioro de otras propiedades físicas que impiden el desarrollo radicular.⁸

Teniendo en cuenta que las propiedades y factores físicos de los suelos no solamente son importantes para caracterizar e identificar y clasificar los suelos, sino que están estrechamente relacionados con su productividad.⁹

La intensidad de las operaciones de labranza tiende a la deformación del arreglo de poros del suelo y en consecuencia eleva la densidad aparente y disminuye su estabilidad estructural y textura y origen del suelo, especialmente referido a sus materiales (orgánicos, piro clásticos, arcillosos, etc.)¹⁰

⁶ LEGARDA, L. Características y manejo de propiedades físicas de los suelos volcánicos de Nariño. Revista de investigaciones. Universidad de Nariño, Colombia. Vol.3 N°4. 1989. p.116-138.

⁷ NICOLAYEV, A. Main physical soil properties indicative of soil productivity. Soviet soil science. Vol. 7 N°. 6. 1975. p. 708-713.

⁸ HUMBERT, R. Como el suelo afecta el éxito de la Caña de azúcar. Agricultura de las Americas. Estados Unidos. Vol. 19. N°. 1970. p.33-37.

⁹ Ibid., p.17.

¹⁰ RODRIGUEZ, M. Influencia de la reducción de operaciones de labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo, erosión y escorrentía. Tesis M.Sc. Bogota. Universidad Nacional, programa de estudios para graduados de Ciencias Agrícolas, 1984. p.15-20.

La densidad aparente está relacionada con el contenido de materia orgánica puesto que a un mayor contenido de materia orgánica se aumenta el volumen aparente y disminuye la densidad, especialmente donde los materiales alofanicos afectan el desarrollo estructural del suelo.¹¹

También se puede establecer una relación entre la densidad aparente y la porosidad del suelo, siendo de 55 a 62%, la porosidad para densidades entre 1,0 y 1,2 g/cc. Situación muy similar a la que presentan los suelos trigueros de Imues, con densidad aparente de 1,08 g/cc. Y una porosidad total de 54,25%.¹²

La densidad aparente de los agregados del suelo influye sobre la erodabilidad, suelos de baja densidad aparente 0,3 a 0,8 g/cc. y materia orgánica alta de 10 a 20% contribuyen a que se presente alta resistencia a la erosión hídrica por que poseen alta capacidad de infiltración que disminuye el riesgo de escorrentía. Además facilita el intercambio gaseoso, la permeabilidad, el grado de penetración radical, el régimen térmico y estimula el desarrollo vegetativo.¹³

La resistencia mecánica del suelo y la densidad aparente son variables que miden el grado de compactación de los suelos y, además, tienen un efecto determinante sobre el desarrollo radicular y el movimiento de agua y aire. En los sistemas de siembra directa, la resistencia mecánica del suelo y la densidad aparente son altas en comparación con los métodos de labranza convencional.¹⁴

Rodríguez, 1984 encontró en su estudio que la densidad aparente puede variar cada año por el efecto de los cultivos con una tendencia a incrementarse a partir del primer año con un promedio de 1.35g/cc hasta alcanzar el máximo en el tercero de 1.42 g/cc en la capa superficial y de 1.43 g/cc en la capa subyacente, posteriormente tiende a disminuir hasta el quinto año cuyos valores de 1.29 y 1.35 g/cc vuelven a ser similares al primero y segundo año; el incremento y la reducción del valor de la densidad aparente en cada año denota incidencia del cultivo sobre la estructura del suelo y de esta, a su vez, sobre la densidad aparente.¹⁵

¹¹ CROVETTO, C. Rastrojos sobre el suelo. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1970. p. 20-27.

¹² RANGEL, S. y RIVERA, C. La evaluación de algunas propiedades físicas indicadoras del grado de deterioro de los suelos productivos del municipio de Imues Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto Colombia. Universidad de Nariño Facultad de Ciencias Agrícolas. 1994. p. 17-28.

¹³ Ibid., p.19.

¹⁴ VASQUEZ, L. Soil compaction associated with tillage treatment for soybean, Soil Tillage. Res. 1989. p. 35-45.

¹⁵ RODRIGUEZ, Op.cit., p. 27.

Griffith citado por Rodríguez encontró que con la utilización de labranza cero la densidad aparente de un suelo limoso es comparativamente mayor que la densidad aparente encontrada que cuando se utiliza labranza convencional, no obstante Rodríguez a determinado que con la utilización de labranza cero hay una tendencia a presentar valores menores de densidad aparente comparados estos con suelos donde se utilizo labranza convencional.¹⁶

Montenegro y Malagón 1990, explican que la densidad esta relacionada con el contenido de materia organica, puesto que a un mayor contenido de esta se aumenta el volumen aparente y disminuye la densidad especialmente donde los materiales alofanicos afectan el desarrollo estructural del suelo.¹⁷

En el estudio efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de maíz en los llanos altos del estado Monagas se observa que la relación método de labranza y densidad aparente no fue significativa en las profundidades evaluadas. Sin embargo, para el momento de la siembra y en las profundidades de 0-10 y 10-20 cm, los tratamientos de labranza mínima con cobertura muerta de barbecho natural (LMCBN), Labranza mínima con cobertura muerta de frijol (LMCF) presentaron la más alta densidad aparente, en comparación con los tratamientos de labranza convencional con la incorporación de frijol como abono verde y labranza convencional con la incorporación del barbecho natural.¹⁸

Millar, Turk y Foth citados por Guerrero aseguran que la densidad aparente es menos constante que la densidad real y es determinada por el estado estructural del suelo; además este estado esta gobernado en alto grado, por la influencia mutua de la estructura y del grado de agregación debido a la materia organica. La densidad aparente aumenta más o menos regularmente con la profundidad lo cual es debido a la compresión producida por los horizontes superiores y también a la mayor granulación.¹⁹

Guerrero, dice que el cultivo aumenta el valor de la densidad aparente al provocar merma en el contenido de la materia organica original, asegura que el estudio de la densidad aparente es importante tanto por las características físicas que de ella se derivan como la facilidad en el calculo del peso de un espesor determinado de suelo, que en el caso de la capa arable permite referir en peso el contenido de humus y los minerales útiles a las plantas.²⁰

¹⁶ RODRIGUEZ, Op. Cit., p. 35.

¹⁷ MONTENEGRO, G y, MALAGON. Op.cit., p. 61.

¹⁸ RIVAS, M y MANRIQUE, U. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de maíz en los llanos altos del estado Monagas. Agron. Trop. 48(2): 1998. p.157-174.

¹⁹ GUERRERO, M. Reconocimiento detallado de los suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Palmira. Palmira, ICA. 1961. p. 13-16.

²⁰ Ibid., p. 13.

Según estudios realizados en Colombia sobre propiedades físicas del suelo se ha encontrado que los valores de densidad real se ven afectados por los contenidos de materiales piroclásticos y orgánicos. Los distrandepts se encuentran en suelos bien drenados; contenidos bajos de materiales orgánicos; alto grado de evolución del suelo y la dinámica propia del hierro, constituyen algunos de los factores que afectan dichos valores.²¹

Desde el punto de vista agronómico, la estructura del suelo y su estabilidad en tiempo y espacio gobiernan las relaciones hídricas suelo-planta, almacenamiento, transporte y disponibilidad de agua, aireación, encostramiento superficial, infiltración y permeabilidad escurrimiento y erosión, evaporación, etc. y por lo tanto afectan el potencial productivo de un suelo. Mientras que la textura de un suelo no puede ser fácilmente modificado, la estructura de un suelo es manipulada por sistemas de labranza y de cultivo y puede deteriorarse rápidamente con repercusiones negativas en la producción.²²

Los suelos con textura media o gruesa y con contenidos moderados de humus conservan una estructura favorable durante periodos largos, por lo que requieren de labranza mínima. Los suelos ricos en arcilla y limos tienden a volverse compactos por lo que se restringe la circulación del aire y agua. Estos suelos requieren de labranza más frecuente y más elaborada.²³

De acuerdo con Rodríguez, la estructura del suelo es definida morfológicamente como la disposición de partículas elementales (arena, limo, arcilla) que forman partículas compuestas con propiedades diferentes a una masa igual de partículas sin agregación. Los principales factores que intervienen en la formación de las unidades estructurales; son el clima, las raíces de las plantas, la actividad microbial y de los microorganismos y el manejo del suelo.²⁴

La degradación estructural del suelo esta relacionada con la erosión del suelo, con el cultivo y las prácticas de manejo. Cuando la estructura del suelo es determinada esencialmente por el comportamiento coloidal, es la responsable de las relaciones de aire, humedad, infiltración y temperatura del suelo. Agregados

²¹ BOLAÑOS, J. Suelos en relación a labranza de conservación: aspectos físicos. Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo. México. 1989. p.19-22.

²² Ibid., p.23.

²³ GUERREO, L. Las propiedades físicas de los suelos colombianos y su relación con las labores de labranza. En: Propiedades físicas de los suelos. IGAC. Bogota. 1990. p. 697-699.

²⁴ Ibid., p.36

entre 1 y 3 mm de diámetro presentan las mejores condiciones de aireación, infiltración, retención de humedad y penetración radical.²⁵

Investigaciones con respecto a laboreo y a la estabilidad de los agregados al agua frecuentemente concuerdan en que las operaciones de labranza causan continua reducción en el porcentaje de agregados entre 1 y 5 mm lo cual reduce su estabilidad al agua.²⁶

Dent, Fenster y Malagón, citados por Rodríguez afirman que los implementos de labranza producen degradación de la estabilidad estructural del suelo por incidencia directa sobre los agregados y ser mas drástica esa degradación en la medida que se aumenta el numero de operaciones.²⁷

El suelo puede presentar buen estado y grado de agregación sin embargo la estabilidad de los agregados es la característica mas deseable desde el punto de vista de la productividad y o de la resistencia a la erosión.²⁸

Una pradera más o menos permanente presenta mejor estado de agregación y estabilidad estructural que un suelo cultivado, debido al efecto del sistema radicular de los pastos y al mayor contenido de materia organica del suelo.²⁹

Huges y Baker, en un suelo franco limoso utilizando tracción mecánica encontraron por tamizado en seco y húmedo, un índice de estabilidad estructural de 70 y 80 % con la siembra sin labranza similar a un testigo en pradera mientras que con arado de vertedera y arado rotatorio fue de 40 a 50 %.³⁰

Semikhnenko, encontró 62,3 de agregados entre 0,25 y 3 mm, en la capa superficial de un suelo sin cultivar, mientras que el suelo arado con discos presento el 47 %.³¹

²⁵ MONTENEGRO, Op.cit., p.43.

²⁶ VIDAL, L., et al. Influencia de cuatro métodos de labranza sobre la velocidad de infiltración y estabilidad de los agregados del suelo. Revista Agricultura Técnica. Chile. 1981. p. 83-88.

²⁷ RODRÍGUEZ, Op.cit., p.197

²⁸ DEGTYARENKO, V. N. Evaluation of the erosion resistance of soil in Rostov oblast . Soviet soil science. Vol. N° 1. 1975. p. 105-110.

²⁹ GONZALEZ, A. Curso de física de suelos, universidad nacional de Colombia, Palmira. 1981. 49 56 p.

³⁰ HUGES, A. K. ; BAKER, C. J. ; The effects of tillage systems on soil aggregates in a silt loam. Journal Agricultural Engineering Research. Inglaterra. N° 22. 1977. p. 291-300.

³¹ SEMIKHNENKO, P.G. ; YAROSLAVSKAYA, P. N. Effects of primary cultivation on the structure and makeup of the plow layer of the leached chernozem. Soviet soil science . vol 9 N ° 4. 1977. p. 491-497.

Griffith reporta valores de índice de estabilidad estructural de 0.77 para suelos donde se sembró sin labranza y de 0.35 donde se preparo convencionalmente determinando igualmente después de cinco años en la capa de cero a cinco centímetros de profundidad y promedio de cuatro tipos de suelo.³²

La conductividad hidráulica es una propiedad física importante en el diseño de sistemas de drenaje del suelo y nos indica la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua.³³

La infiltración y la permeabilidad están íntimamente relacionadas con el tamaño de los poros y con la estabilidad de las unidades estructurales del suelo. Los suelos bien estructurados, con tamaño apropiado de agregados, tienen buena velocidad de infiltración y las unidades estructurales son granulares y duras que no se hinchan ni se destruyen cuando se mojan.³⁴

La conductividad hidráulica del suelo es un factor predominante en la determinación de profundidades y separación apropiada de drenes superficiales, de la habilidad de los suelos para transmitir agua depende el funcionamiento de drenes y pozos de drenaje.³⁵

Existen varios métodos de campo y laboratorio para determinar la conductividad hidráulica del suelo, así como el método del permeámetro de cabeza constante y el método del pozo barrenado entre otros.³⁶

El contenido de humedad de los suelos es un importante factor que afecta al crecimiento y desarrollo de las raíces de los cultivos, así Viets (1967), indicó que las raíces de las plantas se ven incapaces de absorber suficientes nutrimentos en suelos secos, debido a la poca actividad radical y a las bajas tasas de difusión de iones y del movimiento de agua.³⁷

Los mayores promedios en el cultivo de humedad en los sistemas de labranza cero y reducida con respecto al contenido de humedad de la labranza convencional muestra una relación inversa con la temperatura del suelo debido al efecto de la cobertura, ya que al presentarse menor temperatura en la superficie del suelo se presenta un menor gradiente con la temperatura del ambiente y por

³² GRIFFITH, R. D. ; MANNERING, J. V. ; MOLDEHHAUER, C. Conservation tillage In the eastern corp belt. Journal of soil and water conservation. Estados unidos. vol 32 N ° 1 .1977. p. 20-23.

³³ LEGARDA, Op.cit., p.126.

³⁴ HERRERA, P. Efecto sobre labranza en algunas propiedades físicas del suelo. Bogota. 1989. p. 55-58.

³⁵ MONTENEGRO, Op.cit., p.803.

³⁶ GAVANDE, S. Física de suelos: principios y aplicaciones. México, Limusa, 1986. p. 13-351.

³⁷ VIETS, F. Nutrient availability in relation to soil water. Amer. Soc. Agron. 1967. p. 458-471.

tanto una menor tendencia a la evaporación, además es probable que la humedad de la capa superficial del suelo tenga influencia de la capa subsuperficial por medio de la capilaridad que en condiciones de labranza cero y reducida no ha sido disturbada y se presenta en condiciones naturales y completamente funcional, mientras que con labranza convencional hay disturbación de la capilaridad que pierde eventualmente su funcionalidad hasta que el suelo alcanza cierto grado de estabilidad.³⁸

Felipe Marcano mencionan que en relación al efecto de las propiedades físicas en el contenido de humedad del suelo a las distintas profundidades se puede indicar que la variable que influye con mayor intensidad es la microporosidad del suelo, seguida de la macroporosidad y la densidad aparente.³⁹

Desde el punto de vista agrícola importan dos propiedades del suelo, la capacidad estructural del suelo que se define como la capacidad para formar terrones espontáneamente y que se dividan en agregados o granos sin la intervención del hombre; y la estabilidad estructural del suelo que es la capacidad que tienen los granos de mantener su forma.⁴⁰

Una mala estructura del suelo puede significar efectos dañinos para la planta, por ejemplo, exceso o deficiencia de agua, falta de aireación, poca actividad bacteriana, impedimento del crecimiento de las raíces, cambios químicos perjudiciales, incidencia de enfermedades, etc.; por el contrario una buena estructura hace que los factores del crecimiento de la planta funcione a su máxima eficiencia y se obtengan mejores rendimientos en las cosechas, es decir, la estructura del suelo en determinados casos puede ser factor limitante de la producción.

Los agregados del tamaño de las arenas son más favorables para el crecimiento de las plantas que los agregados muy pequeños o que los muy grandes. Un suelo hecho de limos no puede drenar por gravedad porque sus poros son muy pequeños. Se requiere de una presión de 0.5 atmósferas para vaciar un poro de 0.006 mm de diámetro.⁴¹

Rodríguez al estudiar sistemas de labranza reducida utilizando tracción animal en el cultivo de papa en un suelo franco limoso de ladera en Nariño, encontró una tendencia a mejorar la producción de papa en la medida en que se reducen

³⁸ RODRIGUEZ, Op.cit., p.50.

³⁹ MARCANO, F. Relaciones entre algunas propiedades físicas del suelo y la producción del pimentón (*Capsicum annum* L.). Departamento de Suelos, Decanatura de Agronomía, UCLA. Tarabana, Cabudare. 2001. p. 13-36.

⁴⁰ ROMERO, C. Siembra de maíz bajo el sistema de no labranza. Santa fe de Bogotá 1975. p. 40-45.

⁴¹ ARGUELLO, R. Estabilidad estructural de un suelo Andico bajo diferentes sistemas de labranza. Tesis de Agrologo. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Agrología. Bogotá. 1975. p. 72-89.

labores de labranza, partiendo del patrón convencional, esta tendencia fue mas acentuada aún al comparar específicamente el producto comercial; sin embargo, los aumentos en producción no presentaron diferencias estadísticas significativas frente al sistema convencional.⁴²

La compactación de un suelo se define como el aumento en la densidad aparente del mismo resultado de cargas o de presión aplicada, la compactación se puede cuantificar por un índice de resistencia del suelo a la penetración el cual es un índice integrado de la compactación, contenido de humedad y tipo de mineral de arcilla.⁴³

La compactación del suelo restringe el crecimiento de las raíces, y por lo tanto el de las plantas, pues limita la penetración de las raíces del cultivo. Forsythe, reporta investigaciones en las cuales el factor básico que afecto la penetrabilidad de las raíces fue la resistencia del suelo.⁴⁴

Menciona Bowen, que el sistema de labranza, el tipo de implemento y su profundidad critica, inciden sobre la compactación del suelo y sobre la resistencia a la penetración.⁴⁵

Bouza y otros, en su estudio de labranza mínima en los suelos tabacaleros de la provincia del Pinar del río en Cuba, encontraron que la compactación del suelo evaluada a través de los datos de densidad aparente, fue menor en las parcelas de labranza mínima con relación a la convencional. Así mismo opinan que estos resultados se corresponden con los contenidos de agregados resistentes al agua y pueden explicarse con el hecho de que el suelo mejor estructurado que se logra con la aplicación de la labranza mínima, condiciona una interrelación mas favorable de las fases sólidas y gaseosas del suelo.⁴⁶

En suelos con mal drenaje los poros están llenos de agua por lo que el suelo tendrá aireación inadecuada, suelos compuestos por agregados estables, de unos 2 a 6 mm de diámetro, las raíces penetran más fácilmente y con mayor rapidez. Si los suelos son muy compactos las raíces no penetran.

De la porosidad dependen importantes propiedades y procesos físicos en los suelos como la retención y el movimiento de agua, la aireación y la transferencia

⁴² FLOREZ, Op.cit., p. 270.

⁴³ BAVER, L., GARDNER, R. Física de suelos. México, 1977. p. 9-12.

⁴⁴ FORSYTHE, W. Física de suelos; manual de laboratorio. San José, 1975. p 127131.

⁴⁵ BOWEN, H. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on norfolk sandy loam. Soil Science Society of America Journal. Estados Unidos. Vol. 42. N°.1. 1978. p.116-120

⁴⁶ BOUZA, H., et al. Utilización de la labranza mínima en los suelos tabacaleros de la provincia del Pinar del río. Ciencias de la agricultura. Cuba. 1981. p. 20-23.

de oxígeno en el medio radical y la facilidad con que las raíces pueden penetrar al suelo.⁴⁷

Uno de los objetivos de la preparación del suelo es incrementar la porosidad; los diferentes sistemas de labranza afectan en grado diferencial esta condición del suelo con la deformación del arreglo de los poros que conduce a un agregado extremadamente fino menor de 0,5 mm de diámetro, perjudicial para un adecuado suministro de aire al suelo. En consecuencia afecta la densidad aparente y su componente de macro y micro poros, esto se relaciona con la génesis y el manejo dado al suelo.⁴⁸

Desde el punto de vista agronómico la presencia y estabilidad de poros de transmisión es lo que hace que un suelo tenga buena estructura. Estos poros grandes o macroporos controlan la infiltración, almacenamiento de agua, drenaje, aireación, penetración radicular, compactación, etc. La fracción de poros pequeños depende fundamentalmente de la textura del suelo y es por tanto, casi inalterable por la labranza y manejo agronómico.⁴⁹

Un suelo también debe poseer un buen porcentaje de poros de almacenamiento y residuales para una buena capacidad retentiva de humedad, ya que los poros de transmisión drenan fácilmente, la compactación en suelos reduce la porosidad total pero en especial, la cantidad de poros intermedios tiende a aumentar, ya que la compresión tiende a formar mas poros intermedios a partir de los poros grandes. Los poros pequeños permanecen igual en ambos casos ya que dependen de la textura, la cual es inalterable en comparación con la estructura. en suelos labrados.⁵⁰

En suelos labrados los poros de la capa superior son mayores de 30 micras y su tamaño se reduce en las capas mas profundas. En suelos no labrados, el tamaño de los poros esta distribuido uniformemente en los horizontes que comprende los primeros 45cm. En unos pocos años, una actividad biológica sin disturbar, ósea, bajo no labranza parece efectiva para mejorar capas endurecidas formada por la labranza convencional.⁵¹

Si los poros mayores del suelo se deshacen, hay serias consecuencias para las plantas que allí crecen y también para el fácil manejo del suelo y para el drenaje,

⁴⁷ LEGARDA, Op.cit., p.127.

⁴⁸ RODRIGUEZ, Op.cit., p.34.

⁴⁹ BOLAÑOS, Op.cit., p. 22.

⁵⁰ HILLEL, D. Introduction to Soil Physics. Academic Press, New York. 1982. pp. 234-236.

⁵¹ EHELERS, W. Observations on earthworm channels and infiltration tilled and untilled loes soil. Soil Science. Estados Unidos. N° 19. 1975. p. 243-249.

la geometría de los poros del suelo controla en gran medida la retención, la disponibilidad y la velocidad de movimiento del agua, y en menor grado las condiciones de aireación y la permeabilidad del suelo a las raíces. Los agregados del suelo pueden romperse o dispersarse y los poros comprimirse o destruirse por la acción de las operaciones de labranza inadecuadas y el mal manejo que se le da a los cultivos, además hacen que las raíces encuentren obstáculos para aprovechar los nutrientes del suelo y poder lograr un mayor volumen exploración.⁵²

Rodríguez, 1984, señala que algunos cambios en el relieve de los suelos de ladera de Nariño son debido al efecto de inversión del arado de vertedera y su interacción con la gravedad dada por la pendiente del terreno. Este fenómeno es la causa de la deformación del perfil del suelo, de pequeñas parcelas características de áreas minifundistas la cual se manifiesta por la disminución del horizonte A y por el creciente afloramiento del subsuelo en las partes altas.⁵³

Las partículas individuales del suelo no están habitualmente, indispuestas al azar, sino que forman grumos unidos por material coloidal que poseen cierta organización interna y forma externa. La naturaleza y distribución por tamaños de los agregados y del espacio de poros, se denomina estructura del suelo, y juega un papel importante en la determinación de las propiedades físicas del suelo y por tanto en su fertilidad.⁵⁴

1.3 LABRANZA

Es la practica mediante la cual, se acondiciona el suelo desde el punto de vista físico, químico y biológico para el desarrollo de los cultivos, uno de los principales objetivos de la labranza es lograr un balance de macro, micro poros que permita una adecuada proporción de aire y agua para la planta, según el tipo de suelo y del clima.⁵⁵

Hay diversos conceptos sobre labranza en donde se busca mejorar la productividad de los cultivos mediante la manipulación mecánica del suelo, define la labranza como manipulación mecánica del suelo que tiende a mejorar las condiciones de este recurso.

⁵² BAVER, L. GARDENER, Op.cit., p. 329.

⁵³ RODRIGUEZ, Op.cit., p. 99.

⁵⁴ GAVANDE, Op.cit., p.56.

⁵⁵ GAVANDE, Op.cit., p.68.

Los objetivos de la labranza son:

- La incorporación de materia orgánica dentro del suelo
- Control de malezas
- Mejoramiento de la estructura del suelo.⁵⁶

Existen muchas evidencias de que el uso de la labranza tiende paulatinamente a aumentar la densidad y la compactación de los suelos, requiriendo estos cada vez más y más labranza. La labranza en general tiende a reducir la densidad aparente e incrementar la porosidad total en los suelos superficiales al menos temporalmente, al mismo tiempo el suelo debajo de la capa de labranza tiende a tener mayor densidad aparente debido a la compactación del tráfico de maquinaria pesada. La geometría del espacio poroso y la densidad aparente que se forma en la labranza es muy inestable y cambia considerablemente con el tiempo.⁵⁷

Algunos sistemas de labranza como la labranza primaria la cual es aquella que se hace con arado de discos o vertedera con cinceles con subsolador o con rastras pesadas para descompactar capas endurecidas e incorporar materia orgánica con el fin de facilitar el desarrollo de las raíces de los cultivos.⁵⁸

Reid y Goss, 1981, aseguran que la labranza con arado le da un nuevo arreglo a los terrones unidos naturalmente y se halla necesario para romper capas duras y aumentar la infiltración mejorando con ello la penetración de las raíces y el almacenamiento de agua.⁵⁹

También se conoce la labranza secundaria usada desde tiempos atrás la cual es aquella labranza que remueve el suelo superficialmente (0-15cm) proporcionando mayor fraccionamiento de los terrenos superficiales y tiende a nivelar el terreno.⁶⁰

Otro tipo de labranza que el agricultor ha venido usando en los suelos de zona de ladera es la labranza convencional que se considera un sistema en el cual el suelo superficial se invierte por medio del arado incorporando la materia orgánica residual de la cosecha anterior venía siendo utilizada años atrás, con el fin de lograr un buen lecho para la germinación óptima de las semillas, está implica una

⁵⁶ CAMACHO, G. Mecanización en el cultivo de la caña panelera. Revista ICA. Vol.15 N°. 1999. p. 135-143

⁵⁷ RODRIGUEZ, M. y LAL,R. Comparison of zero and convencional tillage systems in an acidic soil. Nigeria. 1979. pp.197-205.

⁵⁸ Ibid. p.,139.

⁵⁹ REID, J. y GOSS, M. Effect of living roots of different plant species on the agregate stability of two arable soils. Journal of Soils science. 1981. p. 521-541.

⁶⁰ FLOREZ, Op.cit., p. 264.

o dos operaciones de arada, dos o tres rastrilladas y el uso posterior de maquinaria para pulir y nivelar el suelo.⁶¹

En la labranza convencional los implementos primarios rompen la masa compacta del suelo en una serie de fragmentos de agregados de diversos tamaños esta labor se complementa con operaciones de labranza secundaria para pulverizar y homogenizar la superficie del suelo, la labranza afloja el suelo cercano al implemento reduciendo notablemente la densidad aparente e incrementando la porosidad, resultando mayores tasas de infiltración, oxidación y evaporación.⁶²

En suelos pulverizados por la excesiva labranza se incrementan las pérdidas de humedad, como consecuencias del área expuesta a la acción ambiental, así que entre más se pulverice el suelo, más se aumenta el área expuesta y mayor será la tasa de evaporación.⁶³

La labranza reducida es otro sistema de laboreo en el que se disminuye el número de pasos de maquinaria agrícola, esta labranza ha sido considerada como óptima ya que esta realiza las labores necesarias para lograr cosechas de alto rendimiento el objetivo primordial de la labranza reducida es disminuir costos de producción y reducir el apisonamiento del terreno.⁶⁴

La labranza nula y reducida; conservan la humedad, aumentan significativamente la infiltración hídrica y reducen la evaporación. Los suelos bajo esta labranza son más densos y aunque su porosidad es menor, se encuentra un número mayor de Microporos que con labranza convencional. Además de dar las condiciones para que en el suelo haya un mayor contenido de agua y facilitar una mejor difusión de los nutrientes.⁶⁵

La labranza cero es particularmente eficaz en aumentar la captación, disponibilidad y eficiencia del uso de agua por los cultivos, la cobertura de los suelos por un mantillo vegetal incrementa la infiltración, reduce el escurrimiento,

⁶¹ MALAGÓN, Op.cit., p620.

⁶² UNGER, P. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. ASA special publication N°. 44. 1980. pp. 1197-1200

⁶³ GUERRERO, Op.cit., p.728.

⁶⁴ ANONIMO. Tipos de labranza ventajas y desventajas. En: Agricultura de las Americas (E.E.U.U) Vol. 28, N°.7. 1976. p. 112-116

⁶⁵ FLORENTINO, A. Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en suelos representativos de la colonia agrícola de Turen. Estado de portuguesa. Incidencia agronómica del suelo. 1975. p.105-107.

disminuye la evaporación directa y contribuye a aumentar la disponibilidad de agua, los cambios en la estructura del suelo también tienden a favorecer la infiltración y el almacenamiento de agua, por la formación de una mejor agregación y porosidad, y por la eliminación de costras superficiales y capas duras en el subsuelo. En general la cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo bajo labranza cero es mayor que bajo labranza convencional especialmente en situaciones de sequía.⁶⁶

En los sistemas de labranza de conservación, y en especial en labranza cero el suelo se prepara al mínimo los residuos vegetales y agroquímicos no se incorporan y quedan sobre la superficie esto origina una gradiente vertical y una estratificación de actividad de la superficie hacia abajo. Debido a que no hay labranza, el suelo preserva su estructura nativa, sea buena o mala, el espacio poroso y su continuidad se mantienen intactos los residuos vegetales cubren el suelo disminuyendo la insolación, el impacto de la lluvia, la evaporación y el encostramiento, en contra de con la labranza convencional que deja descubierto el suelo por periodos mas prolongados, el uso de los residuos vegetales reduce fuertemente la erosión y conserva el agua; implícito en este postulado de labranza cero es el postulado que la estructura optima de un suelo ocurre cuando este se encuentra sin disturbar, en su estado natural cubierto por vegetación.⁶⁷

La labranza vertical es la que se hace con cinceles y subsolador para aflojar capas compactadas y/o endurecidas con el fin de proporcionar mayor infiltración y crecimiento de las raíces. El suelo entra en contacto con el implemento solo en las líneas donde van acopladas las estructuras verticales que producen una ruptura angular (45°) del suelo hacia la superficie.⁶⁸

El sistema de labranza guachado Viene del quechua wachay que significa campo de cultivo formado con cespedones cortados y doblados para formar guachos, guachar es una práctica de origen precolombino que hace énfasis en la reducción de labranza y cobertura del suelo.⁶⁹

⁶⁶ LAL, R. A soil suitability guide for different tillage systems in the tropics. Soil and tillage research. Nigeria 1985. p.179-196.

⁶⁷ PHILIPS, R and PHILIPS, S. Tillage agriculture principles and practices. Van nostrand reinhold Co. Inc., New York. 1974. p. 198-223.

⁶⁸ FLORENTINO, Op.cit., p.106.

⁶⁹ YEPES, B. Siembra de papa en guachado. En: Plegable divulgativo N°.7, CORPOICA, Pasto-Colombia. 2002. p. 1-6.

Algunas de las labores del sistema de labranza de guachado son:

Pastoreo: Consiste en hacer pastorear al ganado lotes que han permanecido dos o más años en potrero hasta dejar el pasto entre 5 a 10 cm. de altura.

Guachado: Con pala o azadón se corta el potrero por 3 partes en cespedones de forma rectangular a ovalada que miden en promedio 35 cm. de ancho x 55 cm. de longitud. Se doblan por la parte no cortada hacia adentro de tal manera; que los cespedones cortados caen sobre el potrero y al unirse forman los surcos o guachos, la calle corresponde al espacio de donde se sacan los cespedones para cada surco, generalmente la distancia entre surcos es de 1.20 a 1.50 metros construidos a favor de la pendiente.

Descrestada: Con un azadón se corta el centro de la calle, cada 30 cm para facilitar el desplazamiento del arado de chuzo en la siguiente labor.

Rayada o partida de calles: Antes de la siembra con el arado de chuzo se hacen de 3 a 6 pases o rayas, con el fin de aflojar la tierra.

Picada de calles: Con un azadón se pican las calles para desmenuzar la tierra, con lo cual se hace la rozada o rebose.

Siembra: Después de 15 días de guachar, en el lomo del guacho con pala o azadón, se realiza un corte que se abre cuando el operario desliza la herramienta hacia atrás forma una apertura de 0 cm donde se depositan las semillas y el fertilizante, que se tapan al retirar la herramienta.

Rozada, rebose o retape: A los 20 días después de la siembra con un azadón se echa tierra hasta cubrir completamente el guacho y el fertilizante que se aplica con esta labor.

Desyerba: Esta se la hace a los 45 días después de la siembra.⁷⁰

La Tracción Animal ha sido usada para transporte, para cultivar la tierra y producir cosechas por siglos. De esta manera la energía animal ha contribuido al desarrollo cultural y económico del hombre desde antes de la invención de la rueda. Actualmente, en muchas regiones del mundo, a pesar del desarrollo de la mecanización agrícola durante el último siglo, los animales continúan suministrando una gran proporción de la energía utilizada en la agricultura, las especies animales que más se emplean en la actualidad para trabajar en los países en desarrollo son los bovinos, seguidos en su orden por los equinos, bufalinos, asnales, mulares y camélidos.⁷¹

⁷⁰ YEPEZ, Op.cit., p.4.

⁷¹ SUAREZ, Fernando. Y RODRIGUEZ, A. Investigaciones sobre la conservación de suelos en Colombia. Bogota-Colombia, Salvat, 1962. p. 40-47.

1.4 DEGRADACION DE SUELOS

El termino degradación se refiere a la perdida del potencial productivo del suelo, por deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, como consecuencia del uso de practicas agrícolas inapropiadas a través del tiempo el grado de degradación del suelo depende de la intensidad de su uso y del conocimiento que se tenga en los límites críticos tolerables, que presenten los cultivos, en relación con sus exigencias edafológicas.⁷²

Es difícil hablar de degradación en términos generales si no de limitaciones en algunas características del suelo que afectan directamente alguno de los factores de crecimiento de las plantas: aireación, temperatura, desarrollo de raíces, suministro de nutrientes; uno de los problemas que se presentan en la evaluación es que ella es un proceso continuo que muchas veces pasa desapercibido y en determinado momento muestra sus efectos negativos en los cultivos.⁷³

Según Marino Rodríguez en su informe Labranza Mínima como una alternativa de conservación de suelos de ladera en Nariño, Colombia manifiesta que una de las practicas agrícolas que producen mayor degradación del sistema es la disturbacion del suelo en la preparación, la deshierba manual, y el aporque debido al desplazamiento irreversible de grandes volúmenes de suelo, alteración de propiedades físicas y al arrastre del suelo por el agua de escorrentía.⁷⁴

La disminución o pérdida del potencial productivo del suelo es lo que se refiere a la degradación del suelo llevando a un deterioro de sus propiedades físicas, químicas o biológicas causadas por el uso de prácticas inadecuadas heredadas año tras año.⁷⁵

En suelos que son cultivados permanentemente, sus agregados quedan expuestos a la fragmentación por un humedecimiento, impacto de la lluvia o

⁷² LAL, Op.cit., p. 126.

⁷³ FENALCE. La mecanización en el manejo de los suelos en Colombia, Bogota. 1987. p.63-65.

⁷⁴ RODRIGUEZ, M, Labranza Mínima como una alternativa de conservación de suelos de ladera en Nariño, Colombia. III Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista, San José – Costa Rica, 1995. p.179-183.

⁷⁵ GOMEZ, A. y GARCIA, B. Manejo y Conservación de suelos de ladera. Boletín Técnico N°. 1. CORPOICA, C.I. Obonuco. Pasto-Colombia. 1998. p. 12.

impacto directo por implementos de labranza, presentado por pérdida de materia orgánica que disminuye el porcentaje de agregados estables del agua.⁷⁶

Así mismo las labores de preparación no adecuadas deterioran las condiciones físicas como la estructura, aireación, penetrabilidad, permeabilidad, retención de humedad, compactación.⁷⁷

La presencia de capas compactas cerca de la superficie del suelo suele transformarse en una barrera mecánica limitante tanto del desarrollo radicular como de la precolación profunda y del drenaje del exceso de agua infiltrada con efectos colaterales en las condiciones de aireación y retención de agua aprovechable por las plantas.⁷⁸

Actualmente los productores, agro empresas e instituciones de investigación han reaccionado satisfactoriamente a esta problemática por ello han buscado nuevas y mejores sistemas de producción agrícola y ganadera que incluyen labranza cero, mínima y la integración de cultivos y pasturas en sistemas de producción agro pastoriles.⁷⁹

El efecto benéfico o perjudicial de la labranza depende del tipo de elemento empleado y la intensidad con que se usen ya que en muchas ocasiones el efecto benéfico se anula por el uso intensivo siendo muy importante mantener la relación maquinaria-suelo.⁸⁰

⁷⁶ TISDALL, J. y OADES, J. Organic matter and water stable aggregates in soils. Journal of soil sciences. 1982. p. 141-163.

⁷⁷ GARCIA, J. Prevención de la degradación del suelo y su reestructuración. Hojas divulgadoras. N°4. Madrid, España. 1989. p. 10-20.

⁷⁸ PLA, I. Degradación de suelos en zonas de ladera de América Latina. III Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista, San José Costa Rica. 1995, p. 28-49.

⁷⁹ GUIMARAES, E. et al. Sistemas agro pastoriles en Sabanas tropicales de América Latina. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Publicación CIAT; N° 313. (EMBRAPA), 1999. p. 179-183.

⁸⁰ GAVANDE, Op.cit., p.352.

1.5. LA EROSION

La erosión como proceso natural ocurre en todos los terrenos y se la puede definir como el proceso de desprendimiento y arrastre de la capa superficial de los terrenos por la acción de agentes llamados erosivos de ellos los mas activos son el agua y el viento, la erosión hace disminuir la capacidad para producir biomasa vegetal, con lo que la protección del suelo disminuye y la importancia de la erosión aumenta de año en año. A largo plazo provoca una disminución de los rendimientos y finalmente el terreno se hace improductivo.⁸¹

Son varios los factores que determinan la magnitud de la erosión, entre estos, las condiciones climáticas, geomorfológicas y la cobertura del suelo según Zaslavski, M. citado por Rodríguez, M, 1984.⁸²

Durante el proceso de erosión se arranca y transporta las capas superficiales de la tierra vegetal, Los agentes externos causantes de la erosión y modelación de la corteza terrestre son esencialmente: la intemperie; el viento (erosión eólica); las aguas superficiales (erosiones pluvial y fluvial); las aguas subterráneas; los glaciares; el mar y los organismos litófagos.⁸³

La no labranza permite un uso más extensivo de los suelos sujetos a erosión, dado que es un sistema menos agresivo que el convencional y posibilita así una utilización mayor de la agricultura en aquellos lugares que han estado marginados.⁸⁴

Kratky, refuerza el concepto anterior al afirmar que la mínima labranza es el medio mas económico y efectivo para controlar la erosión, esta practica se hace esencial cuando se necesita mantener el rastrojo en el suelo durante todo el año.⁸⁵

⁸¹ PORTA, L; LOPEZ, M y ROQUERO, C. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid-prensa, 1994. p.316-322.

⁸² RODRIGUEZ, Op.cit., p.87.

⁸³ CROVETTO, C. La cero labranza y la nutrición del suelo. In 5º Congreso Nacional de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), Mar del Plata, Argentina. 1997. p. 73-78.

⁸⁴ CAZENAVE, J. Agricultura sin laboreo. Análisis de la sociedad rural argentina, 1980. p.46-48.

⁸⁵ KRATKY, B. La labranza reducida es adecuada para usted?. Agricultura de las Americas Estados Unidos. 1982. p.14-23.

El colchón vegetal abundante que queda en la superficie es muy importante en el control de la erosión, tanto hídrica como eólica, protege el suelo contra el impacto de las gotas de lluvia y es el factor amortiguador de temperaturas extremas.⁸⁶

Camacho y Guerrero, enfatizan que la presencia de residuos en la superficie, además de limitar el efecto erosivo de las gotas de lluvia al evitar el desprendimiento dispersión de los agregados del suelo causados por la fuerza de caída y tamaño de las gotas, tiene efecto de pequeñas presas al disminuir la velocidad del agua de escorrentía y permitir una mejor infiltración de agua en el suelo.⁸⁷

Según la naturaleza y forma de ejecución, el laboreo del suelo puede aumentar la penetración del agua en los suelos compactos e impermeable. Cuando la pendiente del suelo es suave menor del 5%, el laboreo del suelo puede ser un control muy eficaz contra la escorrentía pues cuando se efectúan las labores siguiendo las curvas a nivel, se produce una serie de surcos muy próximos y perpendiculares a la pendiente formando retenciones de agua protegiendo al suelo de la erosión.⁸⁸

1.5.1 EL MICRORELIEVIMETRO

Este es un aparato que permite mediante evaluaciones sucesivas (mensuales, semestrales etc.) medir los cambios en la microtopografía del terreno y relacionarlos como lamina de suelo perdido en el periodo considerado. Este aparato consta de un marco rígido, dos paralelos laterales; uno fijo y otro deslizable, un nivel de construcción, un juego de varillas y tornillos mariposa para ajuste.

Para el uso en el campo se seleccionan tres sitios o puntos que cubran convenientemente el terreno y los cuales hacen las veces de repeticiones, y poder tener un buen esquema de variación de erosión en el campo. En cada sitio se entierran dos estacas de 50 cm de longitud de tal manera que sobresalgan 10 cm por encima del suelo en ellas descansaran las patas del microrelievimetro y sobre ellas se hace la nivelación moviendo la pata deslizable. Luego se prosigue a introducir las 38 varillas numeradas las cuales son sostenidas mediante bandas de caucho, para evitar que caigan directamente sobre el suelo y se entierren en el, para posteriormente hacer la lectura.⁸⁹

⁸⁶ CROVETTO, C. Consideraciones sobre la labranza cero. Agricultura de las Americas, Estados Unidos. 1981. p.16-18.

⁸⁷ CAMACHO, H y GUERRERO, L . Equipos para siembra directa, Tibaitata- Colombia. Instituto colombiano agropecuario.1984, p.8.

⁸⁸ FOURNIER, F. Conservación de suelos. Versión española de J. Medina. España Mundi prensa, 1975. p. 178-179.

⁸⁹ AMEZQUITA, E. Diseño, construcción y uso de un microrelievimetro para evaluar la dinámica de la erosión en áreas de ladera. Boletín informativo 2000. p.13-20.

2. METODOLOGÍA

2.1 LOCALIZACION

El presente trabajo se realizó en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño, en el municipio de Pasto localizada a una altitud de 2960 m.s.n.m., temperatura promedio de 12°C, humedad relativa del 73% y precipitación pluvial promedio de 900 mm anuales, en un lote con una pendiente del 35%, con suelos Inceptisoles derivados tanto de depósitos fluviónicos como residuales, y están formados por materiales líticos de naturaleza volcánica, franco arenoso con un nivel de fertilidad alta, ver anexo A.

2.2 DISTRIBUCION DE TRATAMIENTOS

T1 o arado con cincel, el T2 o arado de chuzo y el T3 o guachado se distribuyeron de tal manera que se contrarrestara la fertilidad del suelo, para lograr la mayor homogeneidad dentro del bloque y la mayor heterogeneidad entre bloques. Ver figura 1.

El área total fue de 7062 m² en donde se ubicaron los 3 tratamientos de 32 m x 16 m con 3 repeticiones por bloque y una distancia de 1 metro entre bloque y bloque y entre cada tratamiento así como lo muestra la figura 1; el número de bloques fue tres en toda el área, se establecieron aproximadamente entre 12 y 15 surcos a un metro de distancia y 50cm entre planta y planta; sembrando dos tubérculos por sitio.

2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño que se utilizó para esta investigación fue un diseño de bloques completos al azar cuyo modelo es: $Y_{ij} = \mu + \beta_j + T_i + e_{ij}$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta del tratamiento i , bloque j

μ = media general del experimento

β_j = efecto del bloque j

T_i = efecto del tratamiento i

E_{ij} = componente aleatoria llamada error experimental, debido al tratamiento i , bloque j

Donde los tratamientos son cada uno de los siguientes sistemas de labranza:

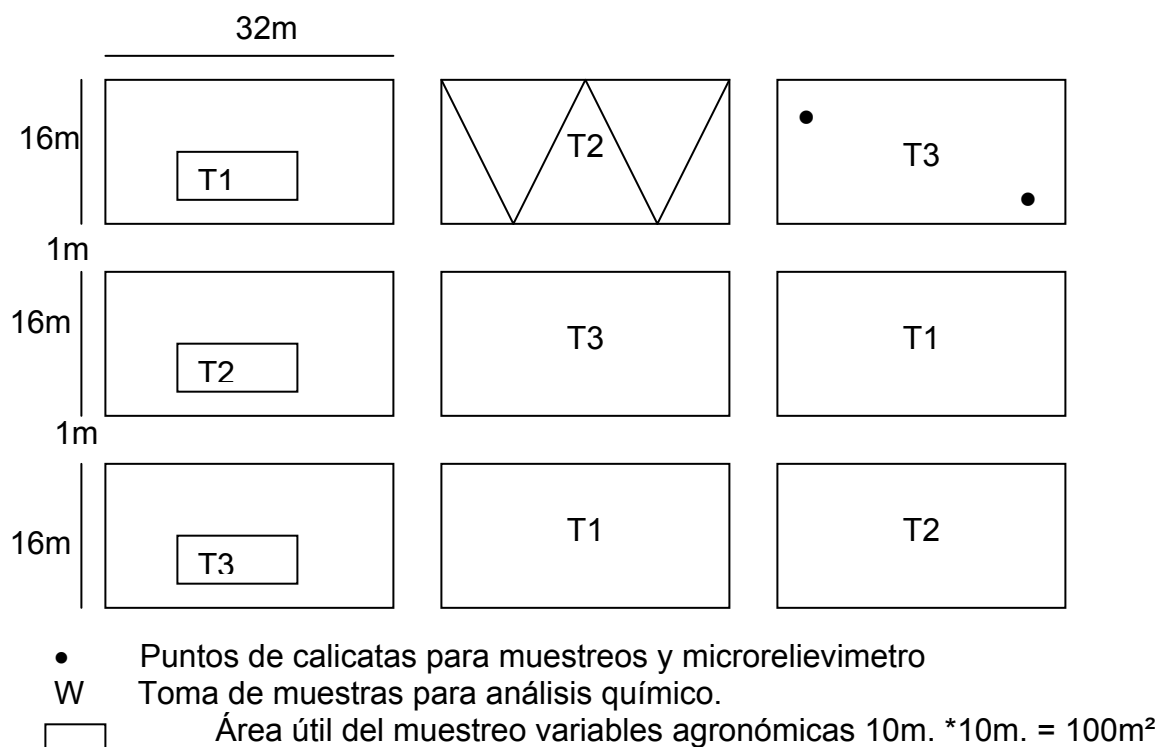
| TRATAMIENTOS | IMPLEMENTO | NO. OPERACIONES |
|--------------|----------------------------------------------|-----------------|
| T1 | Arado de cincel rígido con tracción mecánica | 2 pases |
| T2 | Arado chuzo con tracción animal | 2 pases |
| T3 o Testigo | Guachado con azadón de operación manual | 1 |

El tratamiento 1 o T1 corresponde al sistema de labranza vertical con dos pases de arado de cincel rígido de tracción mecánica, aplicado un pase en curvas a nivel a través de la pendiente y otro en forma cruzada a 30°.

El tratamiento 2 o T2 corresponde al sistema de labranza vertical con un pase de arado de chuzo que se complementó con un pase de rastrillo de púas con tracción animal.

El tratamiento 3 o T3 corresponde al sistema tradicional de guachado en forma manual con azadón.

Figura 1. Distribución de tratamientos y plan de muestreo en cada bloque del área de investigación



2.4 PROPIEDADES FÍSICAS EVALUADAS

Cuadro 1. Variables físicas evaluadas y metodología utilizada

| Propiedad | Método |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Densidad aparente | Volumen conocido (Forsythe, 1980) |
| Densidad real | Picnómetro (Forsythe, 1980) |
| Conductividad hidráulica | Cabeza constante |
| Estabilidad de agregados | Yoder (Yoder, 1936) |
| Distribución de poros | Mesa de tensión y ollas |
| Curvas de retención de humedad | Mesa de tensión |
| Porosidad total | Calculo (Forsythe, 1980) |
| Penetrabilidad | Penetrógrafo |
| Desplazamiento de suelo | microrelievimetro |

2.4.1 Densidad aparente (g/cc)

Se utilizó la metodología del volumen conocido a partir de la siguiente ecuación:

$$D_a = M_{ss}/V_c$$

Donde:

D_a = densidad aparente del suelo en g/cc

M_{ss} = masa del suelo seco a 105°C

V_c = volumen del cilindro conocido donde se tomó la muestra del suelo.⁹⁰

2.4.2 Densidad real (g/cc)

Para determinar la densidad real se empleó el método del picnómetro, basado en la determinación de la masa y el volumen de sólidos del suelo a través de un frasco de volumen conocido, se utilizó la siguiente ecuación:

$$D_s = M_{ss}/V_{ss}$$

Donde:

D_s = densidad real del suelo en g/cc

M_{ss} = masa del suelo seco en gramos

V_{ss} = volumen de suelo seco en cc.⁹¹

2.4.3 Conductividad hidráulica (cm/hora)

Se determinó por medio A los cilindros metálicos con suelo proveniente del campo, se les conecta el cilindro metálico adicional, saturándose posteriormente por capilaridad en una bandeja con agua. Para ello, los cilindros deben colocarse sobre un soporte o malla que impida el contacto de su borde inferior con el fondo de la bandeja, elevando el nivel del agua hasta la parte media del cilindro metálico

⁹⁰ FORSYTHE, W. Física de Suelos. Manual de laboratorio. IICA. San José Costa Rica. 1980. p. 10-211.

⁹¹ Ibid., p.54.

con suelo. Una vez saturado se traslada al permeámetro de Darcy abriendo el grifo para que se llene con agua la extensión superior (cilindro metálico adicional) y se mantenga así durante su determinación. Cuando comience a drenar el agua por debajo del cilindro metálico con suelo, se comienza a registrar el tiempo y a medir con un cilindro graduado el volumen recogido en el vaso de precipitado. La relación entre el volumen recogido y el tiempo transcurrido, representa el gasto que pasa a través del suelo, a partir de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{3.599,42 \times L \times VR / Tt}{(H + L) (3.1416 \times R^2)} = \frac{1.145,73 \times L \times Q}{(H + L) R^2}$$

Donde: K: conductividad hidráulica (cm/h)
 L: altura del cilindro metálico con suelo (7.5 cm)
 VR: volumen recogido (cc)
 Tt: tiempo transcurrido (seg)
 H: carga de agua constante en el cilindro adicional (cm)
 R: radio del cilindro metálico (3,75 cm)

2.4.4 Distribución de poros

Las muestras se equilibraron a una columna de 75 cm. de succión en la mesa de tensión y a 1000 y 1500 (1 y 15 bares de succión en las ollas y platos de presión, la que nos permite determinar la capacidad del suelo para retener agua, la lamina de agua aprovechable y su porosidad funcional (macro, meso y micro poros)

2.4.5 Estabilidad de agregados

Se determino por medio de la metodología descrita por Yoder (1936). En la determinación de la estabilidad de agregados se tomo el suelo tamiz > 6.3 mm; proveniente de la distribución de agregados.

2.4.6 Porosidad total (%)

Se determino a partir de la relación entre la densidad aparente y la densidad real, con la siguiente ecuación:

$$VTP = [1 - Da/Ds] \times 100$$

Donde:

VTP= Volumen total de poros %

Da= densidad aparente del suelo

Ds= densidad de las partículas en g/cc. ⁹²

⁹² FORSYTHE, Op.cit., p.67.

2.4.7 Retención de humedad

Se determinaron a partir de la saturación de muestras sin disturbar sometidas a diferentes succiones (25, 50, 75cm) en la mesa de tensión. Luego el paso se hace a ollas y platos de presión sometiendo las muestras a 1.3 Bares para la determinación de la macro porosidad, meso porosidad, y micro porosidad.

2.4.8 Penetrabilidad

Se midió con el penetró grafo de Pistón, mediante la presión vertical hecha sobre el suelo.

2.5 FRECUENCIAS DE MUESTREO

2.5.1 Muestreos de variables físicas

La toma de muestras para las variables físicas se realizó mediante construcción de "calicatas" de 60 cm X 30 cm 2 calicatas por cada repetición de cada tratamiento en un total de 18 calicatas.

2.5.2 Muestreos para análisis químico.

Se tomaron 20 submuestras de 0 a 30 cm por tratamiento para formar una muestra por cada uno de los tratamientos ubicados en el terreno, por medio de un barreno.

2.5.3 Muestreo para desplazamiento del suelo con microrelievimetro.

Se hicieron dos lecturas; en la parte superior e inferior de cada tratamiento con el uso de dos calicatas equidistantes de 60 cm de ancho X 30 cm de profundidad como referencia para la toma de lectura. (Ver figura 1).

2.5.4 Muestreo variables agronómicas.

Las evaluaciones se hicieron sobre 100 m² (unidad básica) (ver figura 1) esta área se tomo en cada tratamiento en las tres repeticiones:

Las variables agronómicas que se evaluaron fueron las siguientes:

Porcentaje de emergencia.

Profundidad radical efectiva

Producción en Ton/ha.

2.6 ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico se realizo teniendo en cuenta los costos totales de producción por tratamiento y se determino el ingreso neto de cada tratamiento a fin de tener una idea clara de cómo era el comportamiento de cada tratamiento en cuanto a sus costos de producción; metodología propuesta por Perrin.⁹³

⁹³ PERRIN, R. et al. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. México, CIMMYT, 1976. p. 50-54.

3. RESULTADOS

3.1 Densidad Aparente

3.1.1 Densidad aparente primera evaluación

Como puede apreciarse en el cuadro 2 se encontró valores de la densidad aparente en un rango de 0.94 g/cm³ a 1 g/cm³ similares desde el punto de vista de probabilidad estadística ver anexo B, debido a que las muestras se tomaron sobre suelo sin aplicación de ninguno de los tratamientos.

Estos valores encontrados se encuentran dentro del rango óptimo para el crecimiento de las plantas de acuerdo con lo descrito por Gavande, lo cual está relacionado con el hecho de ser un suelo Inceptisol con contenido alto de materia orgánica (9.0%).⁹⁴

También Suárez, 1986 afirman que en los horizontes orgánicos la porosidad total se encuentra entre 44 y 66%, de media a alta y resulta mejor en los suelos altos en contenido de materia orgánica que a su vez determinan menores densidades real y aparente.⁹⁵

Con respecto a esto Forsythe, 1975, citado por Legarda menciona que suelos derivados de cenizas volcánicas tienen valores de porosidad total entre el 70 y 80% y valores bajos pueden estar relacionados con el deterioro producido por la exagerada preparación de los suelos y por el contenido bajo de materia orgánica.⁹⁶

Cuadro 2. Densidad aparente primera evaluación gr/cm³

| Sistemas de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | Promedio |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| Arado de cincel | 0,99 | 0,96 | 0,94 | 0,96 |
| Arado de chuzo | 0,98 | 0,98 | 1,04 | 1,00 |
| guachado | 0,89 | 0,99 | 0,94 | 0,94 |
| Promedio | 0.9533 | 0.9766 | 0.9733 | 0.96 |

⁹⁴ GAVANDE, Op.cit., p.310.

⁹⁵ SUAREZ, Op.cit., p.98.

⁹⁶ LEGARDA, Op.cit., p.54.

3.1.2 Densidad aparente segunda evaluación

En la segunda evaluación resultados de densidad aparente del suelo estuvieron en un promedio de 0.96gr/cm^3 ver cuadro 3; y para cada uno de los tratamientos los resultados fueron de 0.96 gr/cm^3 en las parcelas que recibieron dos pases de cincel, 0.99gr/cm^3 para el suelo disturbado con arado de chuzo de tracción animal y de 0.94gr/cm^3 para el suelo con guachado.

Los valores resultaron estadísticamente similares ver anexo B, lo cual indica que no hubo efecto del sistema de preparación sobre esta propiedad.

Lo anterior se puede explicar porque es un suelo de condiciones óptimas como se anotó anteriormente, debido al alto contenido de materia orgánica 8.5% y en estas condiciones, de acuerdo con Gavande el suelo adquiere una alta estabilidad, de tal manera que no es fácilmente alterado por la preparación y en tal circunstancia no permite observarse diferencias.⁹⁷

Rodríguez M. menciona que la alteración de las propiedades físicas del suelo se da a relativamente a corto plazo si se intensifican las labores como en los sistemas convencionales con el alto número de operaciones. Y la recuperación de las mismas en caso de haber sido alteradas se puede lograr con la aplicación de materia orgánica y reducción de labranza, y sus efectos pueden ser evidentes a través de un largo tiempo.⁹⁸

También Montenegro y Malagón, 1990 señalan que se puede establecer una relación entre la densidad aparente y la porosidad del suelo siendo de 55 a 62 %, la porosidad para densidades entre 1,0 y 1,2 g/cc, situación muy similar a la que presentan los suelos trigueros de Imues, con densidad aparente 1,08 g/cc y una porosidad total de 54,25 % según Rangel y Rivera 1994.⁹⁹

Rangel y Rivera también encontraron en el municipio de Imues valores de densidad aparente entre 1,0 y 1.2 g/cc en suelos andisoles el cual es un valor adecuado para el crecimiento normal de las plantas; sin embargo, hay suelos derivados de cenizas volcánicas que generalmente presentan densidades aparentes bajas entre 0.2 y 0.8 g /cc, como lo afirma Plasantes, 1992.¹⁰⁰

⁹⁷ GAVANDE, Op.cit., p.29.

⁹⁸ RODRIGUEZ, Op.cit., p.67.

⁹⁹ MONTENEGRO y MALAGON, Op.cit., p.247.

¹⁰⁰ RANGEL Y RIVERA, Op.cit., p.115.

Cuadro 3. Densidad aparente segunda evaluación (gr/cm³)

| Sistemas de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 0,98 | 0,96 | 0,95 | 0,96 |
| arado de chuzo | 0,98 | 0,98 | 1,00 | 0,99 |
| Guachado | 0,90 | 0,98 | 0,94 | 0,94 |
| Promedio | 0,95 | 0,97 | 0,96 | 0,96 |

3.2 Densidad Real

3.2.1 Densidad real primera evaluación

Los valores para densidad real en la primera evaluación oscilaron entre 2.270 g/cm³ y 2.476 g/cm³ como lo muestra el cuadro 4, según los valores encontrados no se muestran variaciones estadísticas significativas ver anexo C.

Los valores para cada tratamiento en la primera evaluación fueron: para el suelo en el que se preparo el terreno con arado de cincel 2.456g/cm³, para el suelo disturbado con arado de chuzo 2.476g/cm³ y para el suelo en el que se trabajo con guachado 2.270 g/cm³; resultados similares entre si ya que como se dijo anteriormente el suelo no ha sido disturbado con ninguno de los tratamientos de la investigación por tal razón los valores de densidad real para cada parcela son semejantes

Rangel y Rivera, encontraron valores de 2.37 g/cc de densidad real en suelos andisoles del municipio de Imues relacionados con el bajo contenido de materia organica y también mencionan que se fija como limites 2.5 a 2.6 g/cc valores que pueden ser afectados por el porcentaje de materia organica disminuyendo el límite inferior hasta 1.95 g/cc.¹⁰¹

Cuadro 4. Densidad real primera evaluación gr/cm³

| Sistemas de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | Promedio |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 2,493 | 2,424 | 2,450 | 2,456 |
| arado de chuzo | 2,549 | 2,441 | 2,444 | 2,476 |
| guachado | 2,354 | 2,263 | 2,189 | 2,270 |
| promedio | 2,466 | 2,376 | 2,360 | 2,400 |

3.2.2 Densidad real segunda evaluación

En general los valores para densidad real en la segunda evaluación vario entre 2.396g/cm³ y 2.401 g/cm³ ver cuadro 5, estadísticamente entre tratamientos no se encontraron diferencias ver anexo C, posiblemente y así como lo afirma Lucio

¹⁰¹ RANGEL y RIVERA, Op.cit., p. 115.

Legarda la densidad real como variable para detectar cambios en las propiedades físicas de un suelo por efectos de labranza es muy poco sensible.¹⁰²

También Montenegro y Malagón afirman que la densidad real es afectada a largo plazo debido a la alteración en la presencia de materiales como la meteorización, y procesos de translocación de los mismos.¹⁰³

Con relación a lo anterior Carlos Sánchez en la investigación hecha en propiedades físico hídricas de un oxisol rojo oscuro encontró que la densidad de las partículas varió de 2.44g/cm³ a 2.46 gr/cm³ sin diferencias significativas entre tratamientos o profundidades Los valores medios encontrados están por debajo de los valores medios del suelo (2.65 gr/cm³), lo cual Carlos Sánchez lo explica por el elevado contenido de materia orgánica.¹⁰⁴

Según estudios realizados en Colombia sobre propiedades físicas del suelo se ha encontrado que los valores de densidad real se ven afectados por los contenidos de materiales piroclásticos y orgánicos. Los distrandepts se encuentran en suelos bien drenados; contenidos bajos de materiales orgánicos; alto grado de evolución del suelo y la dinámica propia del hierro, constituyen algunos de los factores que afectan dichos valores.¹⁰⁵

Cuadro 5. Densidad real segunda evaluación gr/cm³

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | Promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 2,401 | 2,401 | 2,401 | 2,401 |
| arado de chuzo | 2,401 | 2,401 | 2,401 | 2,401 |
| guachado | 2,386 | 2,401 | 2,401 | 2,396 |
| Promedio | 2,396 | 2,401 | 2,401 | 2,399 |

¹⁰² LEGARDA, L. Las propiedades físicas y la productividad del suelo. En: Curso sobre diagnostico, fertilidad e interpretación de análisis de suelos. Pasto, Colombia. SCCS, 1998. p. 81-90.

¹⁰³ MONTENEGRO, Op.cit., p.189.

¹⁰⁴ SÁNCHEZ VESGA, CARLOS y ANDRADE, CAMILO. Propiedades físico - hídricas de un oxisol rojo-oscuro preparado con discos y bajo siembra directa 1991. p.14-54.

¹⁰⁵ BOLAÑOS, J. Suelos en relación a labranza de conservación: aspectos físicos. Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo. México. 1989. p. 19-22.

3.3 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (cm/hora)

3.3.1 Conductividad hidráulica primera evaluación

Como se observa en el cuadro 6 los valores para conductividad hidráulica en la primera evaluación oscilaron entre 2.226 cm/hora y 7.666 cm/hora, estos valores según Grassi, 1976 permiten clasificar estos suelos como suelos con una rápida capacidad para permitir el paso del agua a través del mismo.¹⁰⁶

Posiblemente la rápida capacidad de este suelo para permitir el paso del agua se explique con lo dicho por Barbagelata, A. et al quienes en su estudio Evaluación de dos sistemas de labranzas con riego suplementario. Afirman que la capacidad de un suelo para permitir el paso del agua aumenta cuando el contenido de materia orgánica en dicho suelo es alta; tal y como se dijo anteriormente el contenido de materia orgánica en este suelo es alta 9.0 % lo que corrobora lo dicho por Barbagelata, A.¹⁰⁷

Sin embargo, no solo los valores absolutos de porosidad bastan para estimar la permeabilidad del suelo sino algunos otros factores como la geometría del sistema poroso. Así una estructura hojosa deja una gran porosidad pero dificulta notablemente la circulación del agua, al igual que sucede cuando no existe una buena interconexión entre los componentes de la macroporosidad.¹⁰⁸

Como es de esperarse no se encontraron diferencias a nivel estadístico de los valores de conductividad hidráulica antes de la preparación por la falta de disturbación del suelo.

Cuadro 6. Conductividad hidráulica primera evaluación cm/hora

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 7,08 | 14,1 | 1,82 | 7,666 |
| arado de chuzo | 3,7 | 0,38 | 2,6 | 2,226 |
| Guachado | 6,62 | 7,1 | 2,53 | 5,416 |
| promedio | 5,8 | 7,193 | 2,316 | 5,1026 |

¹⁰⁶ GRASSI, C. 1976. Manual de drenaje. Mérida, Ven. CIDIAT. P. 346.

¹⁰⁷ BARBAGELATA, A., O P CAVIGLIA, O F PAPANOTI. Evaluación de dos sistemas de labranzas con riego suplementario. Efectos sobre el crecimiento, rendimiento y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de trigo y la resistencia mecánica del suelo. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 2000. p.34-41.

¹⁰⁸ KEZDI, A.. Manual de la mecánica de suelos. Hungría. Universidad Técnica de Budapest. 1975. p.264.

3.3.2 Conductividad hidráulica segunda evaluación

En el cuadro 7 se muestra que los valores para la conductividad hidráulica encontrados en los tres tratamientos tuvieron un promedio de 15.226 cm/hora así: Para el suelo sometido a tracción mecánica con arado de cincel 15.046 cm/hora, para el suelo disturbado con arado de chuzo 12.216 cm/hora y para el suelo sobre el cual se trabajo guachado 18.416 cm/hora , no obstante, no presentan diferencias a nivel de probabilidad estadística ver anexo D.

Debido posiblemente al corto tiempo en el cual se hizo la investigación; Gavande afirma que la conductividad hidráulica y otras propiedades físicas del suelo presentan variabilidad solo si las practicas de labranza y el laboreo hecho a dicho suelo es excesivo.¹⁰⁹

También Guerrero, L menciona que la capacidad que tiene un suelo de permitir el paso de agua se ve afectada solo si se mantiene un sistema de labranza por varios años que permitan el cambio en la estructura del suelo por medio de la durabilidad de las labores de adecuación o preparación del terreno.¹¹⁰

Cuadro 7. Conductividad hidráulica segunda evaluación cm/hora

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| Arado de cincel | 9,1 | 17,59 | 18,45 | 15,046 |
| Arado de chuzo | 13,19 | 11,07 | 12,39 | 12,216 |
| Guachado | 21,11 | 18,9 | 15,24 | 18,416 |
| promedio | 14,4666 | 15,853 | 15,36 | 15,226 |

3.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD

3.4.1 Retención de humedad primera evaluación

El cuadro 8 muestra los valores obtenidos para el porcentaje de humedad en el suelo en el cual se va a trabajar los tres tratamientos de sistemas de labranza presentándose un promedio de porcentaje de humedad de 41.192% a 1/3 bares.

El porcentaje de humedad en cada uno de los tratamientos oscilo entre 37.34% y 43.65% estos valores indican la capacidad que presenta este suelo para retener agua.

¹⁰⁹ GAVANDE, Op.cit., p.243.

¹¹⁰ GUERRERO, Op.cit., p. 697.

Cuadro 8. Retención de humedad (%) primera evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| Arado de cincel | 42,57 | 43,75 | 41,44 | 42.586 |
| Arado de chuzo | 38,05 | 42,85 | 31,12 | 37.34 |
| Guachado | 39,09 | 47,61 | 44,25 | 43.65 |
| promedio | 39.923 | 44.736 | 38.936 | 41.192 |

3.4.2 Retención de humedad segunda evaluación

El cuadro 9 registra los valores de porcentaje de humedad en la segunda evaluación con un promedio de 42.06%.

Con valores entre tratamientos de 43.26% para el suelo disturbado con arado de cincel, 42.92% para el suelo preparado con arado de chuzo y 40.01% para el suelo en el cual se trabajo con el sistema de labranza guachado sin diferencias estadísticas ver anexo E.

Rodríguez, encontró en su estudio Influencia de la reducción de operaciones de labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo, erosión y escorrentía que el sistema de labranza no tuvo mayor incidencia sobre la cantidad de agua retenida menciona Rodríguez que al reducir operaciones de preparación de tres aradas y tres rastrilladas con vertedera como se hace con el sistema convencional, el porcentaje de agua retenida fue de 28.2 y 29.9 % en las dos capas del suelo; mientras que al hacer únicamente tres rastrilladas no se esta afectando la retención de agua a ese limite ni aún usando el arado de chuzo en cinco años consecutivos.¹¹¹

Cuadro 9. Retención de humedad (%) segunda evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| Arado de cincel | 44.09 | 43.26 | 42.43 | 43.26 |
| Arado de chuzo | 48.86 | 38.61 | 41.31 | 42.92 |
| Guachado | 40.05 | 41.58 | 38.41 | 40.01 |
| promedio | 44.33 | 41.15 | 40.71 | 42.06 |

¹¹¹ RODRIGUEZ, Op.cit., p. 87.

3.5 DISTRIBUCION DE POROS

3.5.1 Macroporos primera evaluación

El cuadro 10 muestra el promedio encontrado en el terreno de la investigación con un promedio de 11.627%; valor que indica que el porcentaje de macroporos en este suelo, se acerca al ideal, teniendo en cuenta lo reportado por Amezquita, 1990 quien menciona que un ideal en porcentaje para macroporos esta en 12%.¹¹²

La variación del espacio aéreo para los tres tratamientos en la primera evaluación estuvo entre 11.616% para el tratamiento 1 o arado de cincel 5.443% para el tratamiento 2 o arado de chuzo y 17.823% para el testigo o guachado.

Cuadro 10. Porcentaje de Macroporos primera evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 9,300 | 10,730 | 14,820 | 11,616 |
| arado de chuzo | 6,780 | 5,600 | 3,951 | 5,443 |
| Guachado | 13,310 | 18,760 | 21,400 | 17,823 |
| promedio | 9,796 | 11,696 | 13,390 | 11,627 |

3.5.2 Macroporos al final del cultivo

Los valores encontrados para macroporos en la segunda evaluación fueron en promedio 8.4%. Montenegro y Malagón, 1990 afirman que por debajo del 10% de macroporos hay un déficit de aireación, con respecto a esto se puede decir que aunque ninguno de los tratamientos tenga el 10% de macroporos sin embargo el promedio si se acerca al ideal.¹¹³

En el cuadro 11 se muestran los valores para el porcentaje de macroporos al final del cultivo así: para el suelo disturbado con arado de cincel fue de 7.810%, para arado de chuzo 9.656% y 7.853% para guachado; los valores para guachado y arado de cincel se vieron reducidos en 3.806% y 9.97% respectivamente, al contrario para arado de chuzo el valor se incremento en un 4.213%; sin embargo se presento un comportamiento errático entre tratamiento y tratamiento lo cual no permite encontrar diferencias estadísticas significativas ver anexo F.

Lo anterior se puede explicar así como en la densidad aparente dada su relación, es decir, debido a la estabilidad del suelo dada por el alto contenido de materia orgánica y su efecto sobre la estructura, y al laboreo no excesivo condiciones que de acuerdo con Gavande el suelo adquiere una alta estabilidad, de tal manera que

¹¹² AMEZQUITA, E. Algunas consideraciones agroclimáticas y edáficas para uso y manejo integral de suelos. CNI, ICA; Bogotá. 1990. p. 43.

¹¹³ MONTENEGRO, Op.cit., p.40.

no es fácilmente alterado por la preparación y en tal circunstancia no permite observarse diferencias.¹¹⁴

Con respecto a lo anterior Andriulo, A. afirma que la macroporosidad depende sobre todo de la estructura del suelo, de su grado de fisuración y parcialmente de la textura y sus valores son más elevados en suelos arenosos.¹¹⁵

Cuadro 11. Porcentaje de Macroporos segunda evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 3,640 | 13,090 | 6,700 | 7,810 |
| arado de chuzo | 9,970 | 13,640 | 5,360 | 9,656 |
| Guachado | 14,780 | 6,380 | 2,400 | 7,853 |
| Σ | 28,390 | 33,110 | 14,460 | 25,319 |
| promedio | 9,463 | 11,036 | 4,820 | 8,439 |

3.5.3 Mesoporos primera evaluación

Los valores encontrados para mesoporos tal y como lo muestra el cuadro 12 oscilan entre 4.5% y 7.3% valores que están muy lejos de alcanzar el ideal del cual habla Amezcuita diciendo que el valor ideal para el porcentaje de mesoporos es del 30%, valores que posiblemente como menciona Amezcuita puede ocasionar un desbalance nutricional para las plantas especialmente déficit de Nitratos y Bases.¹¹⁶

Cuadro 12. Porcentaje de Mesoporos primera evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 5,230 | 4,840 | 3,430 | 4,500 |
| arado de chuzo | 7,270 | 12,280 | 2,350 | 7,300 |
| Guachado | 5,850 | 6,160 | 4,080 | 5,363 |
| promedio | 6,116 | 7,760 | 3,286 | 5,721 |

3.5.4 Mesoporos al final del cultivo

Los valores que se encontraron en la segunda evaluación en cuanto a la cantidad de mesoporos para el suelo en el que se preparo el terreno con arado de cincel fueron de 7.246%, para el suelo en el que se trabajo con tracción animal, 7.769% y para el suelo en el que se hizo la preparación con guachado 7.033% como lo registra el cuadro 13, estos valores que con relación al porcentaje de mesoporos

¹¹⁴ GAVANDE, Op.cit., p.29.

¹¹⁵ ANDRIULO, A. E. y R. A. ROSELL. 1998. Propiedades edáficas en dos sistemas de labranza. Turrialba. Vol.38, Nº.4. 1998. p. 365-375.

¹¹⁶ AMEZQUITA, Op.cit., p.43.

encontrados antes de la preparación se vieron incrementados en un promedio de aproximadamente de 1.628%.

No se presentaron diferencias estadísticas ver anexo G, debido probablemente a Las mismas razones expuestas anteriormente y relacionadas con el alto contenido de materia orgánica y la estabilidad proporcionada por esta.

Al encontrarse valores bajos de mesoporosidad, menciona Castillo, M el suelo puede presentar menor capacidad de infiltrar agua, la cual puede acumularse en superficie y escurrir llevando consigo el horizonte superficial, los residuos de cosechas y por ende el recurso suelo a través de procesos erosivos.¹¹⁷

Con respecto a lo anterior en el presente trabajo esta afirmación es contradictoria ya que a pesar de que la cantidad de mesoporos esta lejos de el ideal, este suelo presenta una rápida capacidad para permitir el paso de agua como ya anteriormente se lo menciona.

Cuadro 13. Mesoporos segunda evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 6,920 | 7,780 | 7,040 | 7,246 |
| arado de chuzo | 9,090 | 8,190 | 6,027 | 7,769 |
| Guachado | 9,200 | 5,980 | 5,920 | 7,033 |
| promedio | 8,403 | 7,316 | 6,329 | 7,349 |

3.5.5 Porcentaje de microporos primera evaluación

El cuadro 14 muestra los resultados encontrados para el porcentaje de Microporos estos valores encontrados en la primera evaluación se encuentran entre 37.3665 y 45.483%, valores que son mayores al ideal que según Amezcua debería estar en un 5%.¹¹⁸

Como es de esperarse no se encontraron diferencias a nivel estadístico de los valores de conductividad hidráulica antes de la preparación por la falta de disturbacion del suelo.

¹¹⁷ CASTILLO, M. Efectos de la compactación de suelos y stress mecánico sobre el desarrollo foliar y radicular, rendimiento en grano y toma de nutrientes. VI Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Resúmenes de trabajos. Guanare. 1980. p. 150-184.

¹¹⁸ AMEZQUITA, Op.cit., p. 43.

Cuadro 14. Porcentaje de microporos primera evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 47,350 | 42,790 | 41,410 | 43,850 |
| arado de chuzo | 44,170 | 43,730 | 48,550 | 45,483 |
| Guachado | 41,220 | 35,090 | 35,790 | 37,366 |
| promedio | 44,246 | 40,536 | 41,916 | 42,233 |

3.5.6 Porcentaje de microporos segunda evaluación

El cuadro 15 muestra los valores encontrados en la segunda evaluación fue de un valor promedio de 43.45%

El suelo en el que se trabajo con tracción mecánica arado de cincel el porcentaje de Microporos es de 45.240%, para el suelo disturbado con arado de chuzo con tracción animal el porcentaje de Microporos fue de 40.806% y para el suelo en el cual se trabajo con el sistema de guachado 45.790% valores que no tuvieron diferencias significativas entre tratamientos ni con respecto a los resultados obtenidos antes de la preparación. Ver anexo H.

Los resultados anteriormente mencionados determinan el no efecto del sistema de preparación sobre la distribución de poros; también Martín, Rodríguez en los resultados de su investigación, Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de maíz en los llanos altos del estado Monagas encontró que la macro y la microporosidad no fueron afectadas por los métodos de labranza.¹¹⁹

Así como la macroporosidad también la microporosidad depende de la estructura pero sobre todo de la textura y de la actividad biológica. Y sus valores son muy altos en los suelos ricos en elementos finos y en los dotados de una microfauna numerosa y activa.¹²⁰

Cuadro 15. Porcentaje de microporos segunda evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 54,120 | 36,630 | 44,970 | 45,240 |
| arado de chuzo | 39,980 | 37,600 | 44,840 | 40,806 |
| Guachado | 37,660 | 45,250 | 48,460 | 45,790 |
| promedio | 43,920 | 39,826 | 46,090 | 43,945 |

¹¹⁹ RODRÍGUEZ, MARTÍN . Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de maíz en los llanos altos del estado Monagas, Agron. Trop. 48(2). 1998. p.157-174.

¹²⁰ PLA, I. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelo en condiciones tropicales. Revista de la Facultad de Agronomía, UCV. Maracay - Venezuela. Alcance. 1983. p. 32:91.

3.6 ESTABILIDAD DE AGREGADOS

3.6.1 Estabilidad de agregados primera evaluación

El promedio de estabilidad de agregados en la primera evaluación como lo muestra el cuadro 16 fue de 5.508 mm valor que permite clasificar estos suelos como suelos altamente estables según la tabla 1.

Una pradera más o menos permanente presenta mejor estado de agregación y estabilidad estructural que un suelo cultivado, debido al efecto del sistema radicular de los pastos y al mayor contenido de materia orgánica del suelo.¹²¹

Lo anterior es corroborado por Legarda quien afirma que los suelos de Nariño presentan un alto índice de estabilidad en su agregación ofreciendo condiciones estructurales aceptables que facilitan la preparación agrícola de estos suelos.¹²²

Tratamientos con a arado de cincel presentó 5.503 mm, para arado de chuzo 5,481 mm y 5.54 para guachado. No se encontró diferencia significativa por cuanto no se han aplicado los tratamientos de labranza.

Cuadro 16 Estabilidad de agregados primera evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 5,621 | 5,539 | 5,351 | 5,503 |
| arado de chuzo | 5,446 | 5,61 | 5,388 | 5,481 |
| Guachado | 5,586 | 5,551 | 5,483 | 5,54 |
| promedio | 5,551 | 5,566 | 5,407 | 5,508 |

3.6.2 Estabilidad de agregados segunda evaluación

Los valores encontrados en la segunda evaluación para estabilidad de agregados oscilaron entre 4.296 mm y 4.947 mm como lo muestra el cuadro 17 para el tratamiento de arado de cincel de 4.526mm, para el tratamiento de arado de chuzo 4.296mm y para el tratamiento con guachado 4.947mm.

Estos valores no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, ver anexo I, posiblemente por ser suelos estables y estar sometidos a efecto de labranza no agresiva en corto tiempo como anteriormente se menciona.

Huges y Baker, en un suelo franco limoso utilizando tracción mecánica encontraron por tamizado en seco y húmedo, un índice de estabilidad estructural

¹²¹ GONZALEZ, A. Curso de física de suelos, universidad nacional de Colombia, Palmira. 1981. p. 49 56.

¹²² LEGARDA, Lucio. Las propiedades físicas y la productividad del suelo. En: Curso sobre diagnóstico, fertilidad e interpretación de análisis de suelos. Pasto. Colombia. SCCS, 1998. p. 81-90.

de 70 y 80 % con la siembra sin labranza similar a un testigo en pradera mientras que con arado de vertedera y arado rotatorio fue de 40 a 50 %.¹²³

Semikhnenko, encontró 62,3 de agregados entre 0,25 y 3 mm, en la capa superficial de un suelo sin cultivar, mientras que el suelo arado con discos presento el 47 %.¹²⁴

Griffith reporta valores de índice de estabilidad estructural de 0.77 mm para suelos donde se sembró sin labranza y de 0.35 mm donde se preparo convencionalmente determinando igualmente después de cinco años en la capa de cero a cinco centímetros de profundidad y promedio de cuatro tipos de suelo.¹²⁵

Con respecto a esto Levy, R y Adames, L afirman que suelos con porcentajes de agregación mayores al 50% son suelos muy estables en los cuales se facilita el laboreo agrícola y sus condiciones estructurales difícilmente serán alteradas.¹²⁶

También Rodríguez menciona que los implementos de labranza producen degradación en la estabilidad de un suelo solo si el número de operaciones de labranza son altas y continuas.¹²⁷

Además Degtyarenko, encontró un decrecimiento en la estabilidad estructural y micro estructura de un suelo franco, bajo cultivo, comparado con un suelo sin cultivar y otro bajo bosque. Igualmente, el arado de vertedera, el arado de cinceles y el arado rotativo pueden producir efectos diferenciales resultando la labranza rotatoria la causa de la pulverización de suelos con efectos negativos sobre la estructura; el suelo sembrado sin labranza presenta significativamente mayor resistencia de agregados.¹²⁸

¹²³ HUGES, Op.cit., p. 291

¹²⁴ SEMIKHNENKO, P.G. ; YAROSLAVSKAYA, P. N. Effects of primary cultivation on the structure and makeup of the plow layer of the leached chernozem. Soviet soil science . vol 9 N ° 4. 1977. p. 491-497.

¹²⁵ GRIFFITH, R. D. ; MANNERING, J. V. ; MOLDEHHAUER, C. Conservation tillage In the eastern corp belt. Journal of soil and water conservation. Estados unidos. Vol. 32, N °. 1 . 1977. p. 20-23.

¹²⁶ ADAMES, J. y LEVY, H. Propiedades físicas de algunos suelos del Valle del Cauca. Acta Agronómica. Vol.10, N°. 3. Colombia. 1960. p.213-253.

¹²⁷ RODRIGUEZ, Op.cit., p.20.

¹²⁸ DEGTYARENKO, V. Evaluation of the erosion resistente of soil in Rostov Oblast. Soviet soil science. Vol. 7 N°. 1. 1975. p. 105-110.

Cuadro 17. Estabilidad de agregados segunda evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|------------|
| arado de cincel | 3,914 | 4,945 | 4,721 | 4,52666667 |
| arado de chuzo | 3,837 | 4,641 | 4,412 | 4,2966 |
| guachado | 4,932 | 4,898 | 5,012 | 4,9473 |
| promedio | 4.227 | 4.828 | 4.715 | 4.586 |

Tabla 1. Rangos para interpretar la estabilidad con relación al diámetro ponderado medio (DMP)

| DMP | INTERPRETACION |
|---------|----------------|
| <0.5 | INESTABLE |
| 0.5-1.5 | LIG.ESTABLE |
| 1.5-3.0 | MOD.ESTABLE |
| 3.0-5.0 | ESTABLE |
| >5.0 | MUY ESTABLE |

Montenegro,¹²⁹

3.7 POROSIDAD TOTAL (%)

3.7.1 Porosidad total primera evaluación

En el cuadro 18 se puede apreciar los valores de porosidad total en las parcelas que se van a utilizar para ser disturbadas con cada uno de los tratamientos de la investigación los porcentajes de porosidad que se encontraron oscilaron entre 58.04 y 58.83

Según lo mencionado por Gordiyenco, citado por Rodríguez, 1984 quien afirma que el óptimo de porosidad total esta comprendido entre 50% y 55% se puede determinar que el suelo de esta investigación presenta un buen porcentaje de porosidad total.¹³⁰

Los valores no presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ver anexo J ya que no se les ha aplicado ningún tratamiento

Cuadro 18. Porosidad total primera evaluación (%)

| Sistemas de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 60,78 | 56,53 | 59,18 | 58,83 |
| arado de chuzo | 59,97 | 61,62 | 57,42 | 59,67 |
| guachado | 59,59 | 58,66 | 55,88 | 58,04 |
| promedio | 60,113 | 58,936 | 57,493 | 58,846 |

¹²⁹ MONTENEGRO, Op.cit., p 128.

¹³⁰ GORDIYENCO, V. Make up of southern calcareous chemozemas a function of their bula density. Soviet soil science V.8 N. 2. 1976. p. 93-97.

3.7.2 Porosidad total segunda evaluación

Se encontró como valor promedio de porosidad 58% ver cuadro 19, superior al ideal propuesto por Montenegro y Malagón, 1990 del 50%. Lo anterior tiene relación con el alto contenido de materia orgánica de este suelo, al respecto, afirman que los principales factores que intervienen en la porosidad del suelo están referidos a la textura y el contenido de materia orgánica.¹³¹

Los valores de porosidad total al final del cultivo se encuentran en el cuadro 20 así: El suelo en el que se utilizó arado de chuzo 59,463%, para el suelo en el que se trabajó con arado de chuzo 59.736% y para el suelo que se preparó con el sistema guachado 61.246% resultados que no presentaron diferencias significativas ver anexo J.

La situación que se presenta con la porosidad total en cada uno de los tratamientos es similar a lo encontrado con densidad aparente variable de la cual depende la porosidad, afectada por la cantidad de materia orgánica principalmente.

El estudio realizado en esta investigación tuvo un periodo de duración de aproximadamente 8 meses con respecto a esto García, 1994 considera que si un terreno es cultivado durante varios años la porosidad total de un suelo si puede cambiar.¹³²

Así mismo también Herrera, P, 1989, concluye que dependiendo del tipo de labranza y la continuidad con que se practique dicha labranza puede haber o no cambios considerables en la porosidad y en las capas compactadas.¹³³

En el estudio realizado por Delgado, 1986 al contrario con nuestro estudio si encontró diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de porosidad entre sistemas de labranza.¹³⁴

¹³¹ MONTENEGRO, Op.cit., p.61.

¹³² GARCIA, B. Manejo de suelos. Actualización Técnica para la modernización del cultivo de trigo en el departamento de Nariño. Pasto-Colombia. 1994. p.73-79.

¹³³ HERRERA, Op.cit., p. 17

¹³⁴ DELGADO, H. Efecto de sistemas de labranza con tracción animal sobre algunos índices de crecimiento de tres variedades de fríjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) para clima frío de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1986. p.34-120.

Cuadro 19. Porosidad total segunda evaluación (%)

| Sistemas de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 58,74 | 60,82 | 58,83 | 59,463 |
| arado de chuzo | 62,93 | 57,3 | 58,98 | 59,736 |
| guachado | 60,64 | 61,25 | 61,85 | 61,246 |
| promedio | 60,77 | 59,79 | 59,886 | 60,148 |

3.8 PENETRABILIDAD Mpa

3.8.1 Resistencia a la penetración primera evaluación

En el cuadro 20 se presentan los valores de la resistencia del suelo a la penetración determinada en el suelo donde se van a evaluar los tres tratamientos del estudio estos valores obtenidos oscilan entre 1,133 Mpa y 1, 866 Mpa; estos datos nos permiten clasificar estos suelos como suelos con una buena penetrabilidad ver tabla 5; lo anterior es corroborado por Álvarez, A quien en su tesis habla sobre los altos valores de penetrabilidad en los suelos de Botana basado en que la textura predominante es franco arcillosa.¹³⁵

Además como se menciona anteriormente los suelos de esta investigación son suelos compuestos de agregados estables con un promedio de 5.508 mm para antes de la preparación y 4.586 mm para después de la preparación y Gavande con respecto a esto menciona que las raíces penetran con mayor rapidez en suelos con agregados de 2-6 mm.¹³⁶

Cuadro 20. Resistencia a la penetración primera evaluación

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 2,4 | 1,5 | 1,7 | 1,866 |
| arado de chuzo | 1,8 | 2,2 | 0,7 | 1,566 |
| guachado | 0,9 | 1,5 | 1 | 1,133 |
| promedio | 1,7 | 1,733 | 1,133 | 1,52 |

3.8.2 Resistencia a la penetración segunda evaluación

En la segunda evaluación los resultados para porosidad como lo muestra el cuadro 21 fueron para el suelo disturbado con tracción mecánica arado de cincel de 2.266 Mpa, para tracción animal arado chuzo de 1.866 Mpa y para el suelo en el que se trabajo con guachado de 0.9 Mpa.

¹³⁵ ALVAREZ, A. Evaluación de un sistema de drenaje a nivel parcelario en el municipio de Pasto, Colombia. Tesis Ing. Agr. Pasto. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 1975. p. 33-80.

¹³⁶ GAVANDE, Op.cit., p. 69.

Estos valores permiten ver como en los tratamientos con cincel y chuzo la resistencia del suelo aumenta en 0.40 Mpa y 0.30 Mpa respectivamente a diferencia en el suelo disturbado con el tratamiento de guachado en donde la resistencia del suelo disminuye en 0,233 diferencias que estadísticamente no logran ser significativas ver anexo K.

Hay que tener en cuenta que si la investigación presenta una continuidad posiblemente con el tiempo si se presenten diferencias significativas; con respecto a esto Rodríguez, 1984 encontró diferencias altamente significativas de la resistencia a la penetración a través de los años de estudio, también menciona que el sistema convencional o sea el de mayor numero de aradas presento significativamente menor resistencia del suelo a la penetración.¹³⁷

También menciona Florez, B, que el efecto de la labranza sobre algunas propiedades físicas de un suelo a corto plazo son mínimas.¹³⁸

Bouza y otros, en su estudio de labranza mínima en los suelos tabacaleros de la provincia del Pinar del río en Cuba, encontraron que la compactación del suelo evaluada a través de los datos de densidad aparente, fue menor en las parcelas de labranza mínima con relación a la convencional. Así mismo opinan que estos resultados se corresponden con los contenidos de agregados resistentes al agua y pueden explicarse con el hecho de que el suelo mejor estructurado que se logra con la aplicación de la labranza mínima, condiciona una interrelación mas favorable de las fases sólidas y gaseosas del suelo.¹³⁹

Rodríguez, 1984 en su trabajo con rotación de cultivos trigo, maíz, cebada, arveja, papa encontró que en el quinto año con el cultivo de papa se registro una resistencia a la penetración de 1.36 y 9.88 kg/cm² en las capas superficial y profunda respectivamente, significativamente mayor que la encontrada con los otros cultivos; se observa igualmente una tendencia a incrementarse con el paso del tiempo, la interacción del cultivo con la profundidad indica que al cambiar del cuarto año con cultivo de arveja al quinto con papa el incremento es mayor en la capa mas profunda, lo anterior puede tener relación principalmente con el cultivo de papa cuyas practicas requieren de una intensa remoción hasta la capa de suelo subyacente.¹⁴⁰

¹³⁷ RODRIGUEZ, Op.cit., p.61.

¹³⁸ FLOREZ, Op.cit., 267.

¹³⁹ BOUZA, H., et al. Utilización de la labranza minima en los suelos tabacaleros de la provincia del Pinar del río. Ciencias de la agricultura. Cuba. 1981. p. 20-23.

¹⁴⁰ RODRIGUEZ, Op.cit., p.62.

Con respecto a esto, existe discrepancia en cuanto a que la labranza modifica el estado de compactación, entre aumento o disminución de la resistencia mecánica, sin embargo Chagas, 1994, encontró aumento en la penetrabilidad en labranza cero en los primeros centímetros.¹⁴¹

Cuadro 21. Resistencia a la penetración segunda evaluación (Mpa)

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 1,9 | 1,9 | 3 | 2,2666 |
| arado de chuzo | 1,7 | 2,5 | 1,4 | 1,8666 |
| Guachado | 0,9 | 1 | 0,8 | 0,9 |
| promedio | 1,5 | 1,8 | 1,733 | 1,6777 |

Tabla 2. Valores para calificar la resistencia

| RESISTENCIA | VALOR |
|-------------|-------------|
| NINGUNA | 0-1.5 Mpa |
| LEVE | 1.5-2.5 Mpa |
| MEDIA | 2.5-3.5 Mpa |
| ALTA | 3.5-4.5 Mpa |
| EXTREMA | >4.5 Mpa |

MONTENEGRO¹⁴²

3.9.1 Desplazamiento de suelo en los tres tratamientos

El cuadro 22 nos muestra los valores de desplazamiento de suelo para los tres tratamientos así: el desplazamiento de suelo en el que se utilizo arado de cincel fue 4.726 cm, para arado de chuzo 8,210 cm y el desplazamiento de suelo donde se trabajo con guachado fue de 3.093 cm resultados que estadísticamente no presentaron diferencias significativas ver anexo L.

Numerosos estudios confirman que la agricultura sin laboreo reduce la erosión del suelo hasta un grado mínimo. Mc Gregor comprobó que en un suelo muy vulnerable en este sentido en Missisipi la erosión descendió en 17.5 Ton/ha a aproximadamente 1.8 ton/ha bajo régimen sin laboreo.¹⁴³

También Rodríguez en su investigación encontró perdida de suelo similares en los tratamientos utilizados sin hallar diferencias significativas, mencionando que un periodo de cinco años es relativamente corto; mas aún la falta de significancia en esta investigación ya que el periodo de estudio fue de 8 meses aproximadamente, periodo muy corto para obtener diferencias significativas.¹⁴⁴

¹⁴¹ GUTIERREZ, N. . Efecto del manejo de suelo sobre la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración. Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. 2000. p. 45-50.

¹⁴² MONTENEGRO, Op.cit., p 128.

¹⁴³ Mc, GREGOR. Erosion control with no-till croopping practices. 1975. p. 918-920.

¹⁴⁴ RODRIGUEZ, Op.cit., p.75.

Igualmente menciona Garcia, B que el arrastre del suelo se ve afectado por el exagerado numero de operaciones de arado y pulverizado del suelo condición en la cual el suelo es fácilmente arrastrado por acción de agentes naturales, con mayor efecto en pendientes mayores al 50%.¹⁴⁵

También Guerrero menciona que la degradación se sucede fundamentalmente porque se aplican al suelo en forma excesiva, en las labores de preparación fuerzas de tracción, corte y soporte de maquinaria superiores a las que el suelo en su condición actual puede soportar, la acumulación progresiva de estas fuerzas en función del tiempo diezma la estructura del suelo, causando adensamiento compactación y permitiendo que el suelo sea susceptible a la degradación.¹⁴⁶

Por otra parte, el suelo de esta investigación como ya se menciona anteriormente presenta condiciones que favorecen su resistencia a la erosión como su alta estabilidad estructural; de acuerdo con esta característica este suelo presentaría un grado de alta resistencia a la erosión.¹⁴⁷

También Rangel, S mencionan que la densidad aparente de los agregados del suelo influye sobre la erodabilidad, suelos de baja densidad aparente 0,3 a 0,8 g/cc. y materia orgánica alta de 10 a 20% contribuyen a que se presente alta resistencia a la erosión hídrica por que poseen alta capacidad de infiltración que disminuye el riesgo de escorrentía. Además facilita el intercambio gaseoso, la permeabilidad, el grado de penetración radical, el régimen térmico y estimula el desarrollo vegetativo.¹⁴⁸

Además un alto contenido de materia orgánica 9.0% contribuye a que el suelo presenté un grado de agregación alto, profundidad efectiva entre 0.30 y 0.40 metros son factores que mejoran la infiltración y el movimiento del agua en el suelo, reduciendo así la cantidad de agua de escurrimiento.¹⁴⁹

¹⁴⁵ GARCIA, J. Op.cit., p.73

¹⁴⁶ GUERRERO, Op.cit., p. 697.

¹⁴⁷ GARCIA, J. Op.cit., p.76.

¹⁴⁸ RANGEL, S. y RIVERA, C. La evaluación de algunas propiedades físicas indicadoras del grado de deterioro de los suelos productivos del municipio de Imues Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto Colombia. Universidad de Nariño Facultad de Ciencias Agrícolas. 1994. p. 28.

¹⁴⁹ MENDEZ, H; NAVAS, J. Características de retención de humedad en algunos suelos derivados de cenizas volcánicas del departamento de Nariño. En: Suelos Ecuatoriales (Colombia) V. 12. N. 1, 1982. p.140-147.

Cuadro 22. Desplazamiento de suelo en los tres tratamientos (cm)

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 0,000 | 0,000 | 14,180 | 4,726 |
| arado de chuzo | 4,990 | 4,030 | 15,610 | 8,210 |
| Guachado | 1,990 | 7,260 | 0,030 | 3,093 |
| promedio | 6,980 | 11,290 | 29,820 | 16,029 |
| promedio | 2,326 | 3,763 | 9,940 | 5,343 |

3.10 VARIABLES AGRONOMICAS

3.10.1 PORCENTAJE DE EMERGENCIA

Como se puede apreciar en el cuadro 23 se encontró valores para el porcentaje de emergencia en el suelo disturbado con arado de cincel de 87.666%, para el suelo disturbado con arado de chuzo el porcentaje de emergencia de 82% y para el suelo preparado con el sistema de Guachado el porcentaje fue de 87.333%.

Estos valores resultaron estadísticamente similares ver anexo M. lo anterior se puede explicar con lo que menciona Amezcuita diciendo que las características fisiológicas de las plantas no solo están determinadas por el tipo de labranza sino también por factores edafoclimáticos los cuales afectan directamente el desarrollo de las plantas.¹⁵⁰

Además Rodríguez, 1984 en su estudio sobre influencia de labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo, erosión y escorrentía menciona que al comparar los sistemas de labranza como único factor de variación sobre los aspectos fisiológicos del cultivo como: porcentaje de emergencia, altura de plantas y rendimiento no encontró diferencias significativas.¹⁵¹

También Luis López y Girardot Rodríguez, 1992 en su estudio efecto de cuatro sistemas de labranza sobre el cultivo del ajo (*Allium sativum* L.) en el altiplano de Pasto encontraron promedios similares del porcentaje de emergencia entre tratamientos, con 74,49% para dos aradas y dos rastrilladas; 76,81 para tres rastrilladas y 67,50% para siembra sin labranza, quienes en su análisis de

¹⁵⁰ AMEZQUITA, E. Conferencia magistral para el XI congreso colombiano de la Ciencia del Suelo, club campestre. Septiembre. 2002. p. 18-20.

¹⁵¹ RODRIGUEZ, Op.cit., p.27

varianza no encontraron diferencias significativas entre los sistemas de labranza estudiados.¹⁵²

Igualmente Betancur, 1989 encontró promedios similares del porcentaje de emergencia con 90,4% para sistema de labranza reducida; 87,2% y 86,5 para convencional y siembra sin labranza respectivamente.¹⁵³

Cuadro 23. Porcentaje de emergencia (%)

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 85 | 92 | 86 | 87,666 |
| arado de chuzo | 83 | 82 | 81 | 82 |
| Guachado | 90 | 85 | 87 | 87,333 |
| promedio | 86 | 86,333 | 84,666 | 85,666 |

3.10.2 Profundidad radicular

Los valores para profundidad radicular a los tres meses tal y como lo muestra el cuadro 24 para las plantas que fueron sembradas en el suelo que se trabajo el arado de cincel la profundidad radicular fue de 37.033 cm, para las plantas que se sembraron en el suelo en el que se trabajo con arado de chuzo la profundidad radicular fue de 36.5 cm y para las plantas que se sembraron en el suelo que se utilizo el sistema de guachado la profundidad radicular fue de 33.2 cm , valores similares desde el punto de vista de probabilidad estadística ver anexo N.

Florez también en su estudio mecanización en el cultivo de papa en ladera en 1985 no encontró diferencias significativas entre los sistemas de preparación del suelo como único factor que pueda alterar algunos aspectos fisiológicos del cultivo como la emergencia, profundidad radicular y rendimientos.¹⁵⁴

La compactación del suelo restringe el crecimiento de las raíces, y por lo tanto el de las plantas, pues limita la penetración de las raíces del cultivo. Forsythe, reporta investigaciones en las cuales el factor básico que afecto la penetrabilidad de las raíces fue la resistencia del suelo.¹⁵⁵

¹⁵² LOPEZ, L y RODRIGUEZ, G. Efecto de cuatro sistemas de labranza sobre el cultivo del ajo (*Allium sativum* L.) en el altiplano de Pasto. Tesis de grado presentada como requisito para optar el titulo de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Nariño Facultad de Ciencia Agrícolas Pasto-Colombia, 1992. p. 57.

¹⁵³ BETANCOURT, C. Efecto de dos sistemas de labranza mecánica y labranza cero sobre los requerimientos de agua para la producción de frijól arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) en Pasto, Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas, 1989. p.89.

¹⁵⁴ FLOREZ, Op.cit., p.269.

¹⁵⁵ FORSYTHE, W. Física de suelos; manual de laboratorio. San José, 1975. p. 127.

Además Gavande menciona que Taylor y Burnett en un estudio realizado en 1964 aseguran que la resistencia a la penetración y no otra causa es la que determina el grado de crecimiento radicular.¹⁵⁶

Cuadro 24. Profundidad radicular (cm)

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| arado de cincel | 39,5 | 35,6 | 36 | 37,033 |
| arado de chuzo | 35 | 34,9 | 39,6 | 36,5 |
| Guachado | 36,4 | 33,2 | 30 | 33,2 |
| promedio | 36,966 | 34,566 | 35,2 | 35,577 |

3.10.3 Gota (Phytophthora infestans)

Según el cuadro 25 donde se muestran los resultados para incidencia de gota en los tres tratamientos el porcentaje promedio de gota fue 6.6% sin encontrarse diferencias significativas ver anexo O en donde se puede observar que esta variable no fue influenciada por los sistemas de labranza utilizados

Rodríguez, 1984 en su estudio encontró 47.8 plantas con gota con el sistema de labranza en el que se utilizo dos aradas y dos rastrilladas, 29 plantas con gota con el sistema de labranza en el que utilizo una arada y dos rastrilladas, 33 plantas para el sistema de labranza en el que se trabajo con dos rastrilladas, 29.50 plantas para el sistema de labranza en el que se trabajo con una rastrillada y 10.20 plantas con gota para labranza cero; quien explica esto se presento por factores climáticos.¹⁵⁷

Cuadro 25. Incidencia de gota (Phytophthora infestans)

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque3 | promedio |
|---------------------|----------|----------|---------|----------|
| arado de cincel | 0 | 0 | 0 | 0 |
| arado de chuzo | 0 | 0 | 0,3 | 0,1 |
| Guachado | 0 | 0 | 0,3 | 0,1 |
| X | 0 | 0 | 0,2 | 0,0666 |

3.10.4 Producción total en (ton/ha)

El rendimiento del cultivo de papa Diacol capiro por efecto de los tres tratamientos en promedio vario entre 12.172 ton/ha de papa gruesa, 4.099 ton/ha de papa pareja y 2,666 ton/ha de papa richie. El promedio de producción total por hectárea es bajo comparado con el promedio de la zona papera que esta en 24 ton/ha.

¹⁵⁶ GAVANDE, Op.cit., p. 325.

¹⁵⁷ RODRIGUEZ, Op.cit., p.69.

El cuadro 26 muestra las producciones obtenidas de papa gruesa para los tres tratamientos así: 11.683 ton/ha para el tratamiento con arado de cincel 14.633 ton/ha para el tratamiento con arado de chuzo y 10.200 ton/ha para guachado.

La producción de papa gruesa o de primera presentó diferencias significativas ver anexo P, que favorecieron a la labranza con arado de chuzo con tracción animal respecto a esto Rodríguez reporta que los cultivos como el de papa, maíz y ajo presentan una tendencia a incrementar los rendimientos en la medida en que se reducen operaciones de labranza, mientras que el de frijol, zanahoria, remolacha, haba, arveja, trigo y cebada mantienen los niveles de producción.¹⁵⁸

El cuadro 27 muestra las producciones de papa pareja o de segunda o papa comercial, destinada preferiblemente a semilla, para cada uno de los tratamientos así: para el tratamiento con arado de cincel 4.233 ton/ha, para arado de chuzo 3.400 ton/ha y 4.666 ton/ha para el sistema de labranza con guachado, cuyos valores resultaron estadísticamente similares. ver anexo P1

El cuadro 28 muestra las producciones de papa richie o de tercera que se considera no comercial para cada uno de los tratamientos de la investigación 2.5 ton/ha, 2.3 ton/ha y 3.2 ton/ha para arado de cincel, arado de chuzo y guachado, que igual que las anteriores resultaron ser estadísticamente similares. ver anexo P2.

Rodríguez, M, al estudiar sistemas de labranza reducida, utilizando tracción animal, en el cultivo de papa en el suelo franco limoso de ladera, en Nariño, encontró una tendencia a mejorar la producción de papa en la medida que se reducen operaciones de labranza, partiendo del patrón convencional; sin embargo y similar a nuestros datos los aumentos en la producción no presentaron diferencias significativas, frente al sistema convencional.¹⁵⁹

Posiblemente no se presentaron diferencias significativas porque así como lo afirma Greenland, 1977, solo el uso permanente e intensivo con implementos agrícolas del suelo conducen a que en el ocurran cambios negativos que disminuyan su calidad y que se ven reflejadas en la caída de rendimientos.¹⁶⁰

¹⁵⁸ RODRIGUEZ, Op.cit., p.74.

¹⁵⁹ RODRIGUEZ, Op.cit.p.58.

¹⁶⁰ GREENLAND, D. Soil physical conditions and crop production in the tropics chichester.1979. p. 551.

También Amezcuita, E. afirma que el uso intensivo de implementos de labranza a través del tiempo, causa efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo que se ven reflejadas en la disminución de rendimientos.¹⁶¹

Según Montenegro y Malagón, 1990 afirman que el contenido de materia orgánica tiene una influencia mayor que la distribución de tamaño de partícula en las propiedades físicas del suelo y el rendimiento de la cosecha, ya que la materia orgánica disminuye la densidad y el grado de compactabilidad, incrementa la porosidad y el contenido de aire del suelo.¹⁶²

Cuadro 26 Producción de papa de primera en Ton/ha

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | promedio |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Arado de cincel | 12,700 | 11,500 | 10,850 | 11,683 |
| Arado de chuzo | 15,900 | 14,000 | 14,000 | 14,633 |
| Guachado | 9,550 | 9,550 | 11,500 | 10,200 |
| X | 12,716 | 11,683 | 12,116 | 12,172 |

Cuadro 27. Producción de papa de segunda en ton/ha

| Sistemas de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | Promedio |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Arado de cincel | 4,450 | 4,450 | 3,800 | 4,233 |
| Arado de chuzo | 3,800 | 3,200 | 3,200 | 3,400 |
| Guachado | 5,100 | 4,450 | 4,450 | 4,666 |
| X | 4,450 | 4,033 | 3,817 | 4,099 |

Cuadro 28. Producción de papa richie en Ton/ha

| Sistema de labranza | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | Promedio |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Arado de cincel | 2,500 | 2,500 | 2,500 | 2,500 |
| Arado de chuzo | 2,500 | 1,900 | 2,500 | 2,300 |
| Guachado | 3,200 | 3,200 | 3,200 | 3,200 |
| X | 2,733 | 2,533 | 2,733 | 2,666 |

¹⁶¹ AMEZQUITA, E. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos En: Silva, F (ed). Fertilidad de suelos, diagnostico y control. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, Santa Fe de Bogota, Colombia. p.137-154.

¹⁶² MONTENEGRO, Op.cit., p.245p.

4. ANALISIS ECONOMICO

El costo de producción para el tratamiento de arado de cincel fue de \$ 4367350, para el tratamiento de arado de chuzo el costo de producción fue de \$ 4367250 y para el tratamiento de guachado el costo de producción total fue de \$ 4334000 Ver anexos Q, R y S

El valor de la producción de papa fue de \$7108000 para el tratamiento con cincel, para el tratamiento de chuzo el valor de la producción fue de \$7502000y para el tratamiento con guachado el valor de la producción fue de \$7198000.

El ingreso neto para los tres tratamientos fue de \$2740650 \$3140800 y \$2864000tanto para el tratamiento con arado de cincel, el tratamiento con arado de chuzo y para el tratamiento con guachado respectivamente. ver tabla

El mejor tratamiento fue el de menor gasto; porque la producción total y comercial no presentó diferencias estadísticas significativas

Tabla 3. Ingreso neto del cultivo de papa Diacol capiro para cada uno de los tratamientos

| | Arado de cincel | Arado de chuzo | Guachado |
|----------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
| COSTO DE PRODUCCION | \$4367350 | \$4367350 | \$4334000 |
| INGRESO BRUTO | \$7108000 | \$7502000 | \$7198000 |
| INGRESO NETO | \$2740650 | \$3140800 | \$2864000 |

CONCLUSIONES

- ✚ Los sistemas de labranza estudiados no mostraron efecto sobre propiedades físicas del suelo ni en su detrimento ni en su mejoramiento, debido a la estabilidad del suelo y al trabajo a corto plazo.
- ✚ Se presentó efecto del sistema de labranza en la producción de papa clasificada como de primera, aunque la producción total fue similar.
- ✚ Las propiedades físicas de un suelo no son fácilmente alteradas por el sistema de preparación a corto plazo y en tal circunstancia no permite observarse diferencias estadísticamente significativas.

RECOMENDACIONES

- Hacer un seguimiento del estudio de los dos sistemas de labranza vertical y el sistema de guachado sobre propiedades físicas de un suelo con evaluaciones a largo plazo.
- Aumentar el número de tratamientos para lograr mayor sensibilidad del diseño experimental.
- Escoger las variables más sensibles al efecto del sistema de labranza según los objetivos que se buscan.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMES, J. y LEVY, H. Propiedades físicas de algunos suelos del Valle del Cauca. Acta Agronómica. Vol. 10, N°. 4. Colombia. 1960. 253 p.
- ALVARADO, L. Descripción de las variedades de papa cultivadas en Nariño. En: Cartilla divulgativa. Vol.11, N°. 13. Colombia. 1992. 28 p.
- ALVAREZ, A. Evaluación de un sistema de drenaje a nivel parcelario en el municipio de Pasto, Colombia. Tesis Ing. Agr. Pasto. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 1975. 80p.
- AMEZQUITA, E. Diseño, construcción y uso de un microrelievimetro para evaluar la dinámica de la erosión en áreas de ladera. Boletín informativo 2000. p.13-20.
- AMEZQUITA, E. Algunas consideraciones agro climáticas y edáficas para uso y manejo integral de suelos. CNI, ICA; Bogota. 1990. p. 43.
- AMEZQUITA, E. Conferencia magistral para el XI congreso colombiano de la Ciencia del Suelo. (Septiembre 18-20-02).
- AMEZQUITA, E. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos En: Silva, F (ed). Fertilidad de suelos, diagnostico y control. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, Santa Fe de Bogota, Colombia. p.137-154.
- ANDRIULO, A. E. y R. A. ROSELL. 1998. Propiedades edáficas en dos sistemas de labranza. Turrialba. Vol.38, N°.4. 1998. p. 365-375.
- ANÓNIMO. Tipos de labranza ventajas y desventajas. En: Agricultura de las Americas (E.E.U.U). Vol. 28, N°.7. 1978.116p.
- BARBAGELATA, A., O P CAVIGLIA, O F PAPAROTI. Evaluación de dos sistemas de labranzas con riego suplementario. Efectos sobre el crecimiento, rendimiento y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de trigo y la resistencia mecánica del suelo. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 2000. p.34-41.
- BARRERA, L. La fertilidad de los suelos de clima frío y la fertilización de cultivos. En: Fertilidad de los suelos diagnostico y control. Santa fe de Bogota, Colombia. 1994. 447 p.

BAVER, L. GARDENER, R. y GARDNER, W. Física de suelos. México, Hispanoamericana, 1973. 529p.

BETANCOURT, C. Efecto de dos sistemas de labranza mecánica y labranza cero sobre los requerimientos de agua para la producción de frijol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) en Pasto, Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas, 1989. p.89.

BOLAÑOS, J. Suelos en relación a labranza de conservación: aspectos físicos. Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo. México. 1989. 62p.

BOUZA, H et al. Utilización de la labranza mínima en los suelos tabacaleros de la provincia del Pinar del río. En: Ciencias de la agricultura. Cuba. 1981. 83 p.

BOWEN, H. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on norfolk sandy loam. Soil Science Society of America Journal. Estados Unidos. Vol. 42, N°.1. 1978. 126 p.

CAMACHO, G. Mecanización en el cultivo de la caña panelera. Revista ICA. Vol.15, N°.12. 156 p.

CASTILLO, M. Efectos de la compactación de suelos y stress mecánico sobre el desarrollo foliar y radicular, rendimiento en grano y toma de nutrientes. VI Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Resúmenes de trabajos. Guanare. 1980. p. 150-184.

CAZENAVE, J. Agricultura sin laboreo. Análisis de la sociedad rural argentina, 1980. 98 p.

CHEPIL, W. Improved rotary sieve formeasuring state and stability of dry soil stuture. Soil Sci. Soc. Am. Proc.1962. 152 p.

CROVETTO, C. La cero labranza y la nutrición del suelo. En: Quinto Congreso Nacional de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID). Mar del Plata, Argentina. 1997. 98 p.

CROVETTO, C. Rastrojos sobre el suelo; propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1970. 27 p.

CROVETTO, C. Consideraciones sobre la labranza cero. Agricultura de las Americas, Estados Unidos. 1981. 118 p.

DELGADO, H. Efecto de sistemas de labranza con tracción animal sobre algunos índices de crecimiento de tres variedades de frijol arbustivo para clima frío de Nariño. Tesis como requisito para optar el título de Ing. Agr. Pasto, Colombia, Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, 1989. 66 p.

DEGTYARENKO, V. N. Evaluation of the erosion resistance of soil in Rostov oblast . Soviet soil science. Vol. 7, N °. 1. 1975. 110 p.

EHELERS, W. Observations on earthworm channels and infiltration tilled and untilled loes soil. Soil Science. Estados Unidos. N° 19. 1975. p. 243-249.

FENALCE. La mecanización en el manejo de los suelos en Colombia, Bogota. 1987. 65 p.

FEDERACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA. Costos de producción por hectárea para el cultivo de papa semestre B: Boyacá y Cundinamarca. FEDEPAPA. Boletín informativo N°. 63. Bogota. 1984. 27 p.

FLORENTINO, A. Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en suelos representativos de la colonia agrícola de Turen, Incidencia agronómica del suelo. Estado de portuguesa. 105-107 p.

FLOREZ, A. Mecanización en el cultivo de papa en ladera, Revista ICA, Vol. 20. (Octubre- diciembre) 1985. 271 p.

FORSYTHE, W. Física de suelos; manual de laboratorio. San José. 1975. 131 p.

FOURNIER, F. Conservación de suelos. Versión española de J. Medina. España. 1975. 119 p.

GARCÍA, Bernardo y PANTOJA, Carlos. Fertilización del cultivo de papa en el departamento de Nariño. En: Fertilización de cultivos de clima frío. Bogota: Monómeros Colombo-Venezolanos, 1998. p. 23-40.

GARCIA, J. Prevención de la degradación del suelo y su reestructuración. Hojas divulgadoras. N°.4. Madrid, España. 1989. 20 p.

GARCIA, B. Manejo de suelos, actualización técnica para la modernización del cultivo de trigo en el departamento de Nariño. Colombia. 1994. 79 p.

GARCIA, J. Evaluación de sistemas de labranza sobre la producción de cultivos en suelos aldoneros del Valle del Cesar. En: Suelos Ecuatoriales Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. Vol. 30, N°. 1. 2000. 76 p.

GAVANDE, S. Física de suelos, principios y aplicaciones. México. Limusa-wiley. 1987. 345 p.

GONZALEZ, A. Curso de física de suelos, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 1981. 56 p.

GOMEZ, A. y GARCIA, B. Manejo y Conservación de suelos de ladera. Boletín Técnico N°. 1, San Juan de Pasto. CORPOICA. 1998. 17 p.

GONZALES, M. Papas Colombianas 2000. FEDEPAPA. Vol. 3, N°.1. 2000, 195 p.

GORDIYENKO, V. Make up of southern calcareous Chernozemas a function of their bulk density. Soviet Soil Science. V. 8, N. 2. 1976. 97 p.

GRASSI, C. 1976. Manual de drenaje. Mérida, Ven. CIDIAT. P. 346.

GREENLAND, D. Soil physical conditions and crop production in the tropics chichester.1979. p. 551.

GRIFFITH, R. D.; MANNERING, J. y MOLDEHHAUER, C. Conservation tillage In the eastern corp belt. Journal of soil and water conservation. Estados unidos. Vol. 32, N°. 1. 1977. 73 p.

GUERRERO, M. Reconocimiento detallado de los suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Palmira. Palmira, I.C.A. 1961. 56 p.

GUERREO, L. Las propiedades físicas de los suelos colombianos y su relación con las labores de labranza. En: Propiedades físicas de los suelos; IGAC. Bogota. 1990. 699 p.

GUIMARAES, E et al. Sistemas agro pastoriles en Sabanas tropicales de América Latina: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Empresa Brasileira de pesquisa agropecuaria (EMBRAPA). 1999. 313 p.

GUTIERREZ, N. . Efecto del manejo de suelo sobre la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración. Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. 2000. p. 45-50.

HERRERA, P. Efecto de la labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Tesis de grado. 1989. 103 p.

HILLEL, D. Introduction to Soil Physics. Academic Press, New York. 1982. pp. 234-236.

HUGES, A. K. ; BAKER, C. J. ; The effects of tillage systems on soil aggregates in a silt loam. Journal Agricultural Engineering Research. Inglaterra. N° 22. 1977. 291-300 p.

HUMBERT, R. Como el suelo afecta el éxito de la Caña de azucar. Agricultura de las Americas. Estados Unidos. Vol. 19. N°. 1970. 33-37 p.

LAL, R. A soil suitability guide for different tillage systems in the tropics. Soil and tillage research. Nigeria 1985. 179-196 p.

LEGARDA, L. Características y manejo de propiedades físicas de los suelos volcánicos de Nariño. Revista de investigaciones. Universidad de Nariño, Colombia. Vol.3 N°4. 1989. 116-138 p.

LEGARDA, Lucio. Las propiedades físicas y la productividad del suelo. En: Curso sobre diagnóstico, fertilidad e interpretación de análisis de suelos. Pasto. Colombia. SCCS, 1998. 81-90 p.

MALAGON, D. Propiedades físicas de los suelos. Bogota, Colombia. IGAC. 1990. 813p.

MARCANO, F. Relaciones entre algunas propiedades físicas del suelo y la producción del pimentón (*Capsicum annum* L.). Departamento de Suelos, Decanatura de Agronomía, UCLA. Tarabana, Cabudare. 2001. 36 p.

MENDEZ, H; NAVAS, J. Características de retención de humedad en algunos suelos derivados de cenizas volcánicas del departamento de Nariño. En: Suelos Ecuatoriales (Colombia) V. 12. N. 1, 1982. p.140-147.

MONTENEGRO, G y MALAGON, D. Propiedades físicas de los suelos. Bogota. Colombia. IGAC, 1990. 461 p.

NICOLAYEV, A. Main physical soil properties indicative of soil productivity. Soviet soil science. Vol. 7 N°. 6. 1975. 708-713 p.

PERRIN, R. et al. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. México, CIMMYT, 1976. p. 50-54.

PHILIPS, R and PHILIPS, S. Tillage agriculture principles and practices. Van nostrand reinhold Co. Inc., New York. 1974. 223 p.

PLA, I. Degradación de suelos en zonas de ladera de América Latina. III Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista, San José Costa Rica. 1995, p. 28-49.

PLA, I. La erosión en suelos de ladera del trópico Andino y Centroamericano. En: Manejo Integrado de Recursos Naturales en Ecosistemas Tropicales para una Agricultura Sostenible. ICA. Santa Fe de Bogota –Colombia. 1993. 66 p.

PLA, I. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelo en condiciones tropicales. Revista

de la Facultad de Agronomía, UCV. Maracay - Venezuela. Alcance. 1983. p. 32:91.

PORTA, L; LOPEZ, M. y ROQUERO, C. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid-prensa, 1994.512 p.

RANGEL, S. y RIVERA, C. La evaluación de algunas propiedades físicas indicadoras del grado de deterioro de los suelos productivos del municipio de Imues Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto Colombia. Universidad de Nariño Facultad de Ciencias Agrícolas. 1994. 128 p.

REID, J. y GOSS, M. Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. Journal of Soils science. 1981. 541 p.

RIVAS, M y MANRIQUE,U. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de maíz en los llanos altos del estado Monagas. Agron. Trop. 48(2): 1998. 157-174 p.

RODRIGUEZ, M. Influencia de la reducción de operaciones de labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo, erosión y escorrentía. Tesis M.Sc. Bogota. Universidad Nacional, programa de estudios para graduados de Ciencias Agrícolas, 1984. 200 p.

RODRIGUEZ, M, Labranza Mínima como una alternativa de conservación de suelos de ladera en Nariño, Colombia. III Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista, San José – Costa Rica, 1995. 183 p.

RODRIGUEZ, M. y LAL,R. Comparison of zero and convencional tillage systems in an acidic soil. Nigeria. 1979. 205 p.

RODRÍGUEZ, MARTÍN . Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de maíz en los llanos altos del estado Monagas, Agron. Trop. 48(2). 1998. p.157-174.

ROMERO, C. Siembra de maiz bajo el sistema de no labranza. Santa fe de Bogota 1975. 85 p.

SÁNCHEZ VESGA , CARLOS y ANDRADE, CAMILO. Propiedades físico - hídricas de un oxisol rojo-oscuro preparado con discos y bajo siembra directa 1991. p.14-54.

SEMIKHENKO, P.G.; YAROSLAVSKAYA, P. N. Effects of primary cultivation on the structure and makeup of the plow layer of the leached chernozem. Soviet soil sciense . Vol. 9, N °. 4. 1977. 497 p.

SUAREZ, Fernando. Y RODRIGUEZ, A. Investigaciones sobre la conservación de suelos en Colombia. Bogota-Colombia, Salvat, 1962. 473p.

TISDALE, S. y NELSON, W. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Trad. Por Jorge Balasch. Barcelona. Montaner y Simon, 1982, 762 p.

TISDALL, J. y OADES, J. Organic matter and water stable aggregates un soils. Journal of soil sciences. 1982. 163 p.

UNGER, P. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. ASA special publication N°. 44. 1980. 1200 p.

VAN DEN ENDEN, E. Respuesta del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) a la aplicación de materia orgánico como sustituto o complemento de la fertilización química. Tesis Ingeniero Agrónomo. Manizales, Colombia, Universidad de Caldas, Facultad de Agronomía, 1970. 56 p.

VASQUEZ, L. Soil compaction associated with tillage treatment for soybean. Soil Tillage. Res. 1989. 45 p..

VIDAL, L., et al. Influencia de cuatro métodos de labranza sobre la velocidad de infiltración y estabilidad de los agregados del suelo. Revista Agricultura Técnica. Chile. 1981. 83-88 p.

VIETS, F. 1967. Relaciones entre algunas propiedades físicas del suelo y la producción del pimentón (*Capsicum annum* L.). Nutrient availability in relation to soil water. Amer. Soc. Agron. 471 p.

www. Fao.org.2003. Fao. Agricultura de conservacion, Estados Unidos.

YEPES, Bayardo. Siembra de papa en guachado. En: Plegable divulgativo N°.7, CORPOICA., Pasto-Colombia. 6 p.

ANEXOS

Anexo A. Análisis de suelos del lote la Negra antes de la preparación del terreno.

Fecha: enero 15 de 2003 Análisis N° 4405-4406-4407 N° muestra: Tesis
 Interesado: Hugo Ruiz Propietario: UDENAR
 Procedencia: Departamento de Nariño Municipio: Pasto Vereda: Botana
 Finca Granja Experimental de Botana Referencia:
 Cultivo anterior: ninguno Cultivo proyectado: cultivo de papa Diacol capiro
 Altura: 2960 m.s.n.m Temperatura: 12 °C

| Muestras | | Unidad | Parte media | Parte baja | Parte alta |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| <i>pH, potenciómetro relación suelo:agua(1:1)</i> | | | 4.8 | 4.6 | 5.4 |
| <i>Materia organica Walkley-black(Colorimetrico)</i> | | % | 9.2 | 9.6 | 7.2 |
| <i>Densidad aparente</i> | | <i>g/cc</i> | 0.94 | 0.81 | 0.86 |
| <i>Fósforo(P) Bray II</i> | | <i>Ppm</i> | 39 | 98 | 19 |
| <i>Capacidad de intercambio cationico (CIC)</i> | <i>CH3COOHN H41NpH7</i> | <i>meq/100</i> | 32 | 32 | 34.8 |
| <i>Calcio de cambio</i> | | | 11.0 | 11.0 | 13.0 |
| <i>Magnesio de cambio</i> | | | 2.5 | 2.6 | 4.2 |
| <i>Potasio de cambio</i> | | | 1.23 | 1.15 | 0.82 |
| <i>Aluminio de cambio</i> | | | * | * | * |
| <i>Hierro</i> | <i>extracción con DTPA</i> | <i>ppm</i> | 252.0 | 230.0 | 208.0 |
| <i>Manganeso</i> | | | 18.8 | 36.6 | 10.4 |
| <i>Cobre</i> | | | 1.42 | 1.62 | 1.76 |
| <i>Zinc</i> | | | 1.72 | 1.80 | 2.40 |
| <i>Boro ppm, método de agua caliente</i> | | | 0.49 | 0.47 | 0.33 |
| <i>Nitrógeno total</i> | | % | 0.38 | 0.39 | 0.31 |
| <i>Carbono orgánico</i> | | % | 5.34 | 5.58 | 4.18 |
| <i>Arenas</i> | | % | 60.8 | 64.8 | 60.6 |
| <i>Arcillas</i> | | % | 5.2 | 7.2 | 7.4 |
| <i>Limos</i> | | % | 34.0 | 28.0 | 32.0 |
| <i>Textura Franco=F, Aciloso=Ar, Arenoso=A, Limoso=L</i> | | | F-A | F-A | F-A |
| <i>Densidad aparente</i> | | <i>g/cc</i> | 09.4 | 0.81 | 0.86 |
| <i>Densidad real</i> | | <i>g/cc</i> | 2.33 | 2.32 | 2.38 |
| <i>Porosidad</i> | | % | 59.66 | 65.09 | 63.87 |
| <i>Capacidad de campo</i> | | % | 55.06 | 49.39 | 47.99 |

Anexo A1. Análisis de suelo después de la preparación del terreno

Fecha: septiembre 15 de 2004 Análisis N° 4405-4406-4407 N° muestra: Tesis

Interesado: Hugo Ruiz

Propietario: UDENAR

Procedencia: Departamento de Nariño Municipio: Pasto Vereda: Botana

Finca Granja Experimental de Botana

Referencia:

Cultivo proyectado: cultivo de papa Diacol capiro

Altura: 2960 m.s.n.m Temperatura: 12 °C

| Muestras | | Unidad | Parte media | Parte baja | Parte alta |
|------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| <i>pH, potenciómetro relación suelo:agua(1:1)</i> | | | 5.3 | 5.7 | 5.9 |
| <i>Materia organica Walkley-black(Colorimetrico)</i> | | % | 8.3 | 6.5 | 5.4 |
| <i>Densidad aparente</i> | | g/cc | 1.0 | 0.9 | 1.0 |
| <i>Fosforo (P) Bray II</i> | | Ppm | 54 | 10 | 11 |
| <i>Capacidad de intercambio cationico (CIC)</i> | <i>CH3COOH NH41NpH 7</i> | <i>meq/100</i> | 30.0 | 28.0 | 30.6 |
| <i>Calcio de cambio</i> | | | 11.6 | 10.8 | 10.6 |
| <i>Magnesio de cambio</i> | | | 1.80 | 2.40 | 3.20 |
| <i>Potasio de cambio</i> | | | 1.50 | 0.72 | 1.10 |
| <i>Aluminio de cambio</i> | | | * | * | * |
| <i>Hierro</i> | <i>extracción con DTPA</i> | <i>ppm</i> | 316.0 | 242.0 | 286.0 |
| <i>Manganeso</i> | | | 16.0 | 10.0 | 31.0 |
| <i>Cobre</i> | | | 4.02 | 4.28 | 3.56 |
| <i>Zinc</i> | | | 1.20 | 2.86 | 2.62 |
| <i>Boro ppm, método de agua caliente</i> | | | 0.35 | 0.14 | 0.25 |
| <i>Nitrógeno total</i> | | % | 0.35 | 0.28 | 0.24 |
| <i>Carbono orgánico</i> | | % | 4.84 | 3.76 | 3.16 |

Anexo B. Análisis de varianza para densidad aparente primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.0009 | 2 | 0.0004 | 0.25 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 0.005 | 2 | 0.0027 | 1.42 | 6.94 |
| ERROR | 0.007 | 4 | 0.0016 | | |
| TOTAL | 0.014 | 8 | | | |

CV: 4.16

Anexo B1. Análisis de Varianza para densidad aparente en los tres tratamientos segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.0006 | 2 | 0.0003 | 0.36 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 0.0032 | 2 | 0.0016 | 1.96 | 6.94 |
| ERROR | 0.0033 | 4 | 0.0008 | | |
| TOTAL | 0.0072 | 8 | | | |

CV: 2.946

Anexo C. Análisis de Varianza para Densidad Real en los tres tratamientos
primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.019 | 2 | 0.009 | 8.37 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 0.079 | 2 | 0.039 | 34.74 | 6.94 |
| ERROR | 0.004 | 4 | 0.001 | | |
| TOTAL | 0.102 | 8 | | | |

CV: 1.317

Anexo C1. Análisis de Varianza para Densidad Real en los tres tratamientos
segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.00005 | 2 | 0.00002 | 1.00 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 0.00005 | 2 | 0.00002 | 1.00 | 6.94 |
| ERROR | 0.0001 | 4 | 0.00002 | | |
| TOTAL | 0.0002 | 8 | | | |

CV: 0.186

Anexo D. Análisis de varianza para conductividad hidráulica en los tres tratamientos primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 37.856 | 2 | 18.928 | 1.34 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 44.832 | 2 | 22.416 | 1.59 | 6.94 |
| ERROR | 56.393 | 4 | 14.098 | | |
| TOTAL | 139.082 | 8 | | | |

CV: 73.584

Anexo D1. Análisis de varianza para conductividad hidráulica en los tres tratamientos segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 2.964 | 2 | 1.482 | 0.08 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 57.805 | 2 | 28.902 | 1.64 | 6.94 |
| ERROR | 70.320 | 4 | 17.580 | | |
| TOTAL | 131.091 | 8 | | | |

CV: 27.537

Anexo E. Análisis de varianza para retención de humedad (%) primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 57.78 | 2 | 28.89 | 1.05 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 68.47 | 2 | 34.235 | 1.25 | 6.94 |
| ERROR | 109.06 | 4 | 27.265 | | |
| TOTAL | 177.530 | 8 | | | |

CV: 28.5

Anexo E1. Análisis de varianza para retención de humedad (%) segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 23.40 | 2 | 11.7 | 0.67 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 19.13 | 2 | 9.56 | 0.54 | 6.94 |
| ERROR | 69.82 | 4 | 17.45 | | |
| TOTAL | 112.35 | 8 | | | |

CV: 27.6

Anexo F. Análisis de varianza para distribución de poros (macroporos) en los tres tratamientos primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 229.897 | 2 | 114.948 | 13.10 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 19.389 | 2 | 9.694 | 1.10 | 6.94 |
| ERROR | 35.106 | 4 | 8.776 | | |
| TOTAL | 284.392 | 8 | | | |

CV: 25.47

Anexo F1. Análisis de varianza para distribución de poros (macroporos) en los tres tratamientos segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 62.682 | 2 | 31.341 | 1.28 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 6.664 | 2 | 3.332 | 0.14 | 6.94 |
| ERROR | 98.131 | 4 | 24.532 | | |
| TOTAL | 167.478 | 8 | | | |

CV: 58.691

Anexo G. Análisis de varianza para distribución de poros (mesoporos) en los tres tratamientos primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 12.336 | 2 | 6.168 | 1.08 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 30.720 | 2 | 15.360 | 2.68 | 6.94 |
| ERROR | 22.895 | 4 | 5.723 | | |
| TOTAL | 65.951 | 8 | | | |

CV: 41.815

Anexo G1. Análisis de varianza para distribución de poros (mesoporos) en los tres tratamientos segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 6.473 | 2 | 3.236 | 2.16 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 0.853 | 2 | 0.426 | 0.29 | 6.94 |
| ERROR | 5.985 | 4 | 1.496 | | |
| TOTAL | 13.312 | 8 | | | |

CV: 16.643

Anexo H. Análisis de varianza para distribución de poros (microporos) en los tres tratamientos primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 110.581 | 2 | 55.290 | 6.33 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 21.097 | 2 | 10.548 | 1.21 | 6.94 |
| ERROR | 34.950 | 4 | 8.737 | | |
| TOTAL | 166.629 | 8 | | | |

CV: 6.998

Anexo H1. Análisis de varianza para distribución de poros (microporos) en los tres tratamientos segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 41.980 | 2 | 20.990 | 0.54 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 44.423 | 2 | 22.211 | 0.58 | 6.94 |
| ERROR | 154.170 | 4 | 38.542 | | |
| TOTAL | 240.574 | 8 | | | |

CV: 14.127

Anexo I. Análisis de varianza para estabilidad de agregados en los tres tratamientos primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.046 | 2 | 0.0231 | 3.85 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 0.0052 | 2 | 0.0026 | 0.44 | 6.94 |
| ERROR | 0.024 | 4 | 0.0060 | | |
| TOTAL | 0.075 | 8 | | | |

CV: 1.406

Anexo I1. Análisis de varianza para estabilidad de agregados en los tres tratamientos segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.610 | 2 | 0.305 | 3.73 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 0.650 | 2 | 0.326 | 3.99 | 6.94 |
| ERROR | 0.327 | 4 | 0.081 | | |
| TOTAL | 1.591 | 8 | | | |

CV: 6.201

Anexo J. Análisis de varianza para porosidad total en los tres tratamientos primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 10.332 | 2 | 5.166 | 1.35 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 3.970 | 2 | 1.985 | 0.52 | 6.94 |
| ERROR | 15.290 | 4 | 3.822 | | |
| TOTAL | 29.592 | 8 | | | |

CV: 3.322

Anexo J1. Análisis de varianza para porosidad total en los tres tratamientos segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 1.750 | 2 | 0.875 | 0.19 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 5.535 | 2 | 2.767 | 0.60 | 6.94 |
| ERROR | 18.454 | 4 | 4.613 | | |
| TOTAL | 25.739 | 8 | | | |

CV: 3.570

Anexo K. Análisis de varianza para resistencia contra la penetración en los tres tratamientos primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.682 | 2 | 0.341 | 1.16 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 0.815 | 2 | 0.407 | 1.38 | 6.94 |
| ERROR | 1.177 | 4 | 0.294 | | |
| TOTAL | 2.675 | 8 | | | |

CV: 35.672

Anexo K1. Análisis de varianza para la resistencia contra la penetración en los tres tratamientos segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.148 | 2 | 0.074 | 0.22 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 2.962 | 2 | 1.481 | 4.47 | 6.94 |
| ERROR | 1.324 | 4 | 0.331 | | |
| TOTAL | 4.435 | 8 | | | |

CV: 34.306

Anexo L. Análisis de varianza para desplazamiento de suelo en los tres tratamientos.

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 98.178 | 2 | 49.089 | 0.802 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 40.981 | 2 | 20.490 | 0.335 | 6.94 |
| ERROR | 244.612 | 4 | 61.153 | | |
| TOTAL | 285.593 | 8 | | | |

CV: 146.360

Anexo M. Análisis de varianza para porcentaje de emergencia en los tres tratamientos

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 60.666 | 2 | 30.333 | 3.14 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 4.666 | 2 | 2.333 | 0.24 | 6.94 |
| ERROR | 38.666 | 4 | 9.666 | | |
| TOTAL | 104.000 | 8 | | | |

CV: 3.629

Anexo N. Análisis de varianza para profundidad radical en los tres tratamientos primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.659 | 2 | 0.329 | 0.14 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 2.655 | 2 | 1.327 | 0.55 | 6.94 |
| ERROR | 9.684 | 4 | 2.421 | | |
| TOTAL | 12.998 | 8 | | | |

CV: 12.022

Anexo N1. Análisis de varianza para profundidad radical en los tres tratamientos segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 9.282 | 2 | 4.641 | 0.53 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 25.86 | 2 | 12.934 | 1.49 | 6.94 |
| ERROR | 34.824 | 4 | 8.706 | | |
| TOTAL | 69.97 | 8 | | | |

CV: 8.293

Anexo O. Análisis de varianza para (*Phytophthora infestans*) en los tres tratamientos primera evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.002 | 2 | 0.001 | 0.02 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 0.122 | 2 | 0.061 | 0.87 | 6.94 |
| ERROR | 0.280 | 4 | 0.070 | | |
| TOTAL | 0.405 | 8 | | | |

CV: 189.904

Anexo O1. Análisis de varianza para (*Phytophthora infestans*) en los tres tratamientos segunda evaluación

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|-----|----------------|
| BLOQUE | 0.020 | 2 | 0.010 | 1.0 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 0.080 | 2 | 0.040 | 4.0 | 6.94 |
| ERROR | 0.040 | 4 | 0.010 | | |
| TOTAL | 0.140 | 8 | | | |

CV: 150.150

Anexo P. Análisis de varianza para producción de papa de primera (Diacol capiro) (ton/ha) en los tres tratamientos

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 1.615 | 2 | 0.807 | 0.48 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 30.557 | 2 | 15.278 | 9.121 | 6.94 |
| ERROR | 6.703 | 4 | 1.675 | | |
| TOTAL | 37.260 | 8 | | | |

CV: 10.632

Anexo P1. Análisis de varianza para producción de papa de segunda (Diacol capiro) (ton/ha) en los tres tratamientos

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.621 | 2 | 0.310 | 1.542 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 2.486 | 2 | 1.243 | 6.184 | 6.94 |
| ERROR | 0.804 | 4 | 0.201 | | |
| TOTAL | 3.29 | 8 | | | |

CV: 10.93

Anexo P2. Análisis de varianza para producción de papa richie (Diacol capiro) (ton/ha) en los tres tratamientos

| <i>F. de Variabilidad</i> | <i>S.C</i> | <i>G.L</i> | <i>C.M</i> | <i>F.C</i> | <i>F.Tabla</i> |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| BLOQUE | 0.08 | 2 | 0.14 | 1 | 6.94 |
| TRATAMIENTO | 1.34 | 2 | 0.67 | 6.75 | 6.94 |
| ERROR | 0.16 | 4 | 0.4 | | |
| TOTAL | 1.58 | 8 | | | |

CV: 10.73

Anexo Q. Costos de producción de papa (Diacol capiro) con el T1

| COSTOS DIRECTOS | | | | |
|--------------------------------|----------|--------|-------------|----------------|
| MANO DE OBRA | UNIDADES | NUMERO | VR.UNITARIO | TOTAL |
| Chofer del tractor | Jornales | 1 | 7000 | 7000 |
| Siembra y tapada | Jornales | 15 | 6000 | 90000 |
| Deshierba, aporque y abonada | Jornales | 5 | 6000 | 30000 |
| aplicaciones de pesticidas | Jornales | 35 | 6000 | 210000 |
| Cosecha | Jornales | 35 | 6000 | 210000 |
| | | | | |
| INSUMOS | | | | |
| Semilla | Bultos | 20 | 30000 | 600000 |
| Fertilizante | Bultos | 45 | 50000 | 2250000 |
| Herbicidas | | | | |
| Roundaup | Litro | 1 | 12000 | 12000 |
| Insecticidas | | | | |
| Karate | Litro | 2 | 65000 | 130000 |
| Furadan | Litro | 2 | 32000 | 64000 |
| Fungicidas | Litro | | | |
| Dithane | Kilo | 10 | 12000 | 120000 |
| Fitoraz | Bolsa | 6 | 14000 | 84000 |
| TOTAL COSTOS DIRECTOS | | | | 3807000 |
| TRANSPORTE | | | | |
| Insumos y Semilla | Viajes | 3 | 6000 | 18000 |
| Arrendamiento de tierra | Ha | 1 | 200000 | 200000 |
| Preparación del terreno | | | | |
| Alquiler del tractor | horas | 8 | 19000 | 152000 |
| Administración 5% | | | | 190350 |
| TOTAL COSTOS INDIRECTOS | | | | 560350 |
| TOTAL COSTOS TOTALES | | | | 4367350 |
| INGRESO BRUTO | Ton/ha | 25 | | 7108000 |
| Papa de primera | \$/Bulto | 364 | 15000 | 5460000 |
| Papa de segunda | \$/Bulto | 106 | 12000 | 1440000 |
| Papa de tercera | \$/Bulto | 26 | 8000 | 208000 |
| INGRESO NETO | \$/ha | | | 2740650 |

Anexo R. Costos de producción de papa (Diacol capiro) con el T2

| COSTOS DIRECTOS | | | | |
|--------------------------------|----------|--------|-------------|----------------|
| MANO DE OBRA | UNIDADES | NUMERO | VR.UNITARIO | TOTAL |
| Arriero de yunta | Jornales | 4 | 6000 | 24000 |
| Siembra y tapada | Jornales | 15 | 6000 | 90000 |
| Deshierba, aporque y abonada | Jornales | 5 | 6000 | 30000 |
| aplicaciones de pesticidas | Jornales | 35 | 6000 | 210000 |
| cosecha | Jornales | 35 | 6000 | 210000 |
| | | | | |
| INSUMOS | | | | |
| Semilla | Bultos | 20 | 30000 | 600000 |
| Fertilizante | Bultos | 45 | 50000 | 2250000 |
| Herbicidas | | | | |
| Roundaup | Litro | 1 | 12000 | 12000 |
| Insecticidas | | | | |
| Karate | Litro | 2 | 65000 | 130000 |
| Furadan | Litro | 2 | 32000 | 64000 |
| Fungicidas | Litro | | | |
| Dithane | Kilo | 10 | 12000 | 120000 |
| Fitoraz | Bolsa | 6 | 14000 | 84000 |
| TOTAL COSTOS DIRECTOS | | | | 3824000 |
| TRANSPORTE | | | | |
| Insumos y Semilla | Viajes | 3 | 6000 | 18000 |
| Arrendamiento de tierra | Ha | 1 | 200000 | 200000 |
| Preparación del terreno | | | | |
| Alquiler de la yunta de bueyes | Horas | 32 | 4000 | 128000 |
| Administración 5% | | | | 191200 |
| TOTAL COSTOS INDIRECTOS | | | | 537200 |
| TOTAL COSTOS TOTALES | | | | 4361200 |
| INGRESO BRUTO | Ton/ha | 26.5 | | 7502000 |
| Papa de primera | \$/Bulto | 398 | 15000 | 5970000 |
| Papa de segunda | \$/Bulto | 119 | 12000 | 1428000 |
| Papa de tercera | \$/Bulto | 13 | 8000 | 104000 |
| INGRESO NETO | \$/ha | | | 3140800 |

Anexo S. Costos de producción de papa (Diacol capiro) con el T3

| COSTOS DIRECTOS | | | | |
|--------------------------------|----------|--------|-------------|----------------|
| MANO DE OBRA | UNIDADES | NUMERO | VR.UNITARIO | TOTAL |
| Guachado | Jornales | 20 | 6000 | 120000 |
| Siembra y tapada | Jornales | 15 | 6000 | 90000 |
| Deshierba, aporque y abonada | Jornales | 5 | 6000 | 30000 |
| aplicaciones de pesticidas | Jornales | 35 | 6000 | 210000 |
| cosecha | Jornales | 35 | 6000 | 210000 |
| | | | | |
| INSUMOS | | | | |
| Semilla | Bultos | 20 | 30000 | 600000 |
| Fertilizante | Bultos | 45 | 50000 | 2250000 |
| Herbicidas | | | | |
| Roundaup | Litro | 1 | 12000 | 12000 |
| Insecticidas | | | | |
| Karate | Litro | 2 | 65000 | 130000 |
| Furadan | Litro | 2 | 32000 | 64000 |
| Fungicidas | Litro | | | |
| Dithane | Kilo | 10 | 12000 | 120000 |
| Fitoraz | Bolsa | 6 | 14000 | 84000 |
| TOTAL COSTOS DIRECTOS | | | | 3920000 |
| TRANSPORTE | | | | |
| Insumos y Semilla | Viajes | 3 | 6000 | 18000 |
| Arrendamiento de tierra | Ha | 1 | 200000 | 200000 |
| Administración 5% | | | | 196000 |
| TOTAL COSTOS INDIRECTOS | | | | 414000 |
| TOTAL COSTOS TOTALES | | | | 4334000 |
| INGRESO BRUTO | | | | |
| | Ton/ha | 26 | | 7198000 |
| Papa de primera | \$/Bulto | 346 | 15000 | 5190000 |
| Papa de segunda | \$/Bulto | 154 | 12000 | 1848000 |
| Papa de tercera | \$/Bulto | 20 | 8000 | 160000 |
| INGRESO NETO | | | | 2864000 |
| | | | | |