

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

Trabajo Final presentado
para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

**EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO SOBRE LA DENSIDAD
DE LONGITUD DE RAICES Y PRODUCCION DE MATERIA
SECA DE UN VERDEO INVERNAL**

Alumna: Ruth Carolina Guiñazú

DNI: 28446319

Directora: Ing. Agr. Carmen Cholaky

Co- directora: Ing. Agr. Elena Bonadeo

Río Cuarto – Córdoba

Diciembre 2006

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Título del trabajo final:

**“EFECTO DEL SISTEMA DE LABOREO SOBRE LA DENSIDAD DE LONGITUD
DE RAICES Y PRODUCCION DE MATERIA SECA DE UN VERDEO INVERNAL”**

Autor: GUIÑAZÚ, RUTH CAROLINA.

Director: CHOLAKY, CARMEN

Co-director: BONADEO, ELENA

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la comisión Evaluadora

Fecha de Presentación: -----

Aprobado por Secretaría Académica: -----

Secretario Académico

DEDICATORIA

✚ A mis padres por su apoyo durante toda esta etapa de estudios. Sin ellos esto no habría sido posible.

✚ A mi abuela por toda su ayuda y cariño. También a mi abuelo, que aunque ya no esta presente, comparte este logro conmigo.

✚ A Damián por estar siempre a mi lado y brindarme su ayuda y amor.

✚ A Emiliano mi ahijado del alma y a mi hermana por estar siempre.

AGRADECIMIENTOS

✚ A mi directora de tesis Carmen Cholaky por su ayuda.

✚ A mi co-directora Elena Bonadeo.

✚ A Mercedes Ibáñez por su ayuda desinteresada.

✚ A los integrantes del jurado por su pronta corrección.

INDICE DE TEXTO

Índice de tablas y figuras.....	I
Resumen.....	IV
Summary.....	V
Introducción.....	1
1.1- Revisión Bibliográfica.....	1
1.2- Problema a estudiar.....	5
1.3- Hipótesis.....	5
1.4- Objetivo general.....	5
1.5- Objetivos específicos.....	5
2-Materiales y Métodos.....	7
2.1- Características del área donde se realizó el estudio.....	7
2.2- Descripción climática del área de estudio.....	8
2.3- Descripción del suelo bajo estudio.....	10
2.4- Descripción del ensayo experimental.....	10
2.5- Descripción de las determinaciones realizadas.....	11
2.6- Análisis estadístico y relación entre variables.....	14
3- Resultados y Discusión.....	15
3.1-Densidad de Longitud de Raíces.....	15
3.1.1- Mapa de distribución promedio de raíces en el perfil con labranza convencional y vertical.....	16
3.2-Densidad Aparente inicial.....	21
3.2.1- Momento 1: Implantación.....	21
3.3- Densidad Aparente Final.....	25
3.3.1- Momento: 2 Fructificación.....	25
3.4- Análisis de materia seca.....	29
3.5.- Relación entre variables estudiadas.....	30
3.5.1- Densidad de longitud de raíces-Densidad Aparente.....	30
3.5.2- Densidad de longitud de raíces-Resistencia Mecánica.....	31
3.5.3- Densidad Aparente-Resistencia Mecánica.....	32
3.5.4- Estrés radicular por densidad aparente.....	33
4- Conclusiones.....	36
5- Posibles investigaciones.....	37
6- Bibliografía.....	38

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Precipitaciones medias mensuales registradas en la estación experimental Pozo del Carril. Período 1994 – 2004.....	8
Figura 2 : Temperaturas medias mensuales registradas en la estación experimental Pozo del Carril. Período 1994 – 2004.....	9
Figura 3: Precipitación mensual registrada en la estación experimental Pozo del Carril durante el año 2004.....	9
Figura 4: Temperatura media mensual registrada en la estación experimental Pozo del Carril para el año 2004.....	10
Figura 5: Perfil cultural para la situación con labranza vertical.....	Anexo 2
Figura 6: Perfil cultural para la situación con labranza convencional.....	Anexo 2
Figura 7: Mapa de Densidad de Longitud de raíces (cm. de raiz/cm ³ de suelo) promedio entre repeticiones para labranza convencional.....	18
Figura 8: Mapa de Densidad de Longitud de Raíces (cm. de raiz/cm ³ de suelo) promedio entre repeticiones para labranza vertical.....	19
Figura 9: Perfil de Densidad de longitud de raíces (cm de raiz/ cm ³ de suelo) promedio entre repeticiones para cada capa con labranza convencional.....	20
Figura 10: Perfil de Densidad de Longitud de Raíces (cm de raiz/ cm ³ de suelo) promedio en Labranza vertical.....	21
Figura 11: Densidad Aparente (Mg/m ³) para la capa de 0-12.5 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza.....	23

Figura 12: Densidad Aparente (Mg/m ³) para la capa de 12.5-22.5 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza.....	24
Figura 13: Densidad Aparente (Mg/m ³) para la capa de 22.5-30 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza.....	25
Figura 14: Densidad Aparente final (Mg/m ³) para la capa de 0-12.5 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza.....	27
Figura 15: Densidad Aparente final (Mg/m ³) para la capa de 12.5-22.5 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza.....	27
Figura 16: Densidad Aparente final (Mg/m ³) para la capa de 22.5-30 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza.....	28
Tabla 1: Descripción del perfil típico serie La Aguada.....	Anexo 1
Tabla 2: Valores promedio de DLR (cm de raíz/cm ³ de suelo) en las capas del perfil cultural de cada tratamiento de labranza en el momento de fructificación del cultivo de <i>Avena sativa</i> L. (10/10/04).	15
Tabla 3: Densidad Aparente (Mg /m ³ de suelo) promedio de las capas del perfil cultural en el momento de implantación del cultivo (25/06/04).....	22
Tabla 4: Densidad aparente (Mg /m ³ de suelo) promedio de cada capa del perfil cultural de ambos tratamientos de labranza en el momento de fructificación del cultivo.....	26
Tabla 5: Producción de materia seca (Kg/Ha) promedio para labranza convencional y vertical.....	29
Tabla 6: Densidad Aparente y Densidad de Longitud de raíces en las capas del perfil cultural de ambos tratamientos de labranza en el momento de fructificación.	31

Tabla 7: Resistencia Mecánica y Densidad de Longitud de raíces en las capas del perfil cultural de ambos tratamientos de labranza en el momento de fructificación.....31

Tabla 8: Densidad Aparente promedio y Resistencia mecánica de cada capa del perfil cultural de ambos tratamientos en el momento de implantación.....32

Tabla 9: Densidad Aparente promedio y Resistencia mecánica de cada capa del perfil cultural de ambos tratamientos en el momento de fructificación.....33

RESUMEN

La compactación de los suelos es un problema generalizado en las tierras agrícolas tanto a nivel mundial como de la Argentina, lo que ocasiona limitantes para el normal crecimiento de las especies vegetales. El presente trabajo partió de la hipótesis de que la ruptura de capas compactadas en un suelo franco arenoso, incrementa la producción de materia seca de un cultivo forrajero anual invernal, al aumentar la densidad de longitud de raíces y tuvo como objetivo evaluar el crecimiento radicular y la producción de materia seca de un cultivo forrajero anual invernal, manejado con dos sistemas de laboreo del suelo.

La experiencia se llevó a cabo sobre un suelo franco-arenoso como se menciona anteriormente, ubicado en el campo experimental “ Pozo del Carril” de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. Se establecieron dos tratamientos de labranza: convencional y vertical y en cada uno de ellos se evaluó densidad de longitud de raíces, densidad aparente, y producción de materia seca del cultivo. Se analizó la correlación entre estas variables.

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con dos repeticiones.

El ensayo no arrojó diferencias significativas entre sistemas de labranza, ni tampoco la existencia de correlación entre las variables analizadas. Sin embargo, en el tratamiento de labranza vertical hubo una tendencia hacia una mayor homogeneidad física del perfil respecto del tratamiento con labranza convencional, traduciéndose en una producción de materia seca superior en términos absolutos en LV frente a LC.

SUMMARY

The over exploitation of lands in Argentina has generated as a consequence the existence of a different edaphic inconvenient for normal growing not only of vegetables species but also of its root system.

For this reason this work has been carried out in the experimental field "Pozo del Carril" belonging to Agronomy and Veterinary College, where it has been evaluated through DLR measurement, the effect of two kinds of cultivation, conventional and vertical, over the growing of oat's roots and it has been analyzed the relationship with others variables like DAP and RM and the influence on dry matter production.

The experimental plot was situated in a silvopastoril essay which works with the testis.

The experimental design elected was blocks completely aleatoric with two repeats for treatment (with conventional and vertical cultivation)

The essay shows neither significant difference between cultivations nor relationship with others analyzed variables, although differences have been observed in root's exploration. However, there was a tendency toward a greater homogeneity in the vertical cultivation treatment compared with conventional cultivation, which could indicates a higher dry matter production in absolute terms of VC in front of CC.

CAPITULO 1

1- INTRODUCCIÓN:

1.1.-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:

La resistencia a la penetración de los suelos es función de la densidad aparente, el contenido hídrico, la textura, el contenido de materia orgánica y la presencia de agentes cementantes, según lo establece Bathke *et al.* (1992).

Como consecuencia de la dinámica del perfil de resistencia a la penetración en función de la humedad, puede alterarse la absorción de agua y nutrientes y la proporción de raíces que ocupan los distintos horizontes del suelo, en diferentes momentos del ciclo del cultivo (Norero 1983 (a)).

Desde el punto de vista de la productividad es conveniente utilizar sistemas de labranza que alteren en menor medida la estructura de los suelos, permitiendo un mejor perfil exploratorio de las raíces de los cultivos (Díaz *et al.* 1993). Oussible (1992), señaló que las condiciones que impiden el normal crecimiento de las raíces de los cultivos pueden alterar su rendimiento.

El tipo e intensidad de labranzas, la rotación de cultivos y pasturas definen por una parte el estado de compactación del suelo (Carter, 1992).

Con relación a las condiciones físicas del perfil que resultan apropiadas para el crecimiento vegetal, Vepraskas (1988) afirma que a partir de 1,5 MPa de resistencia mecánica comienza a restringirse el crecimiento radical y que a partir de una densidad aparente de $1,55 \text{ Tn m}^{-3}$, la compactación, en combinación con la textura y en particular la proporción de arenas muy finas, puede generar restricciones para el crecimiento radical a tensiones de humedad de 0,1 MPa.

Henin (1960) plantea que el subsolado generalmente es una operación poco eficaz en tierras profundas, pero que puede resultar interesante en aquellas que presentan capas endurecidas dentro del perfil cultural. En este sentido, Cerana y Nicollier (1969) manifiestan

que la destrucción de una capa densa, puede no reflejarse en un mayor crecimiento de las raíces y de las plantas, cuando las condiciones climáticas son lo suficientemente satisfactorias, como para que la capa no genere una resistencia mecánica apreciable.

Con respecto al período de mayor crecimiento de raíces, Wilde (1992) menciona que en los cultivos anuales, el período de crecimiento radicular más activo se limita al tiempo anterior al llenado de órganos reproductivos, pero en perennes y pastos, a menudo es posible un período más largo de crecimiento, y son más notorias las diferencias en profundidades de enraizamiento entre años húmedos y secos.

Numerosos son los trabajos que estudian el efecto del laboreo sobre el crecimiento radicular y la producción de los cultivos. Entre ellos, se puede mencionar el estudio realizado por Vasquez *et al.* (1998) quienes evaluaron tres tipos de labranza: arada profunda (AP) a 90 cm cincel profundo (CP) a 90 cm y arada superficial (AS) a 15 cm, observando que en el sistema de AP, el desarrollo radicular fue homogéneo, mientras que en CP la distribución se presentó de manera estratificada, resultando similar a AS, pero de mayor longitud.

Con respecto al rendimiento de maíz, Chichididimo *et al.* (1992) hallaron un mayor rendimiento en grano con arado de reja que con cincel superficial.

Ressia *et al.* (1998) evaluaron el efecto de diferentes sistemas de laboreo sobre el desarrollo radicular y rendimiento de maíz, encontrando que los sistemas de labranza que generan remoción del suelo incrementan el espesor del perfil en donde los valores de resistencia mecánica no son perjudiciales para el crecimiento radicular.

Bonadeo (1997) y Cholaky (2003) hacen referencia a que el medio físico que ofrece el suelo para el crecimiento de raíces puede no ser adecuado. Este, está determinado principalmente por la granulometría, la densidad aparente, el contenido de materia orgánica, la estructura, la porosidad y el patrón de fisuras. La conjunción de estas variables origina una determinada resistencia a la penetración que varía principalmente en función de la compactación y del contenido hídrico del perfil de suelo

El contenido hídrico actúa disminuyendo la cohesión entre partículas de suelo y las

fuerzas de rozamiento entre ellas (Dashko y Kagan 1980; Schjonning 1990). Esta resistencia a la penetración es una medida de la condición mecánica que ofrece el suelo para el crecimiento de las raíces (Scott Russell, 1977).

El manejo del suelo influye en el perfil de densidad y resistencia mecánica. La elevada resistencia a la penetración puede inhibir temporalmente la exploración y ocupación radicular en el interior del suelo, pudiendo distorsionar el patrón característico de enraizamiento, alterar la distribución, el perfil exploratorio y la densidad de longitud de raíces (Bonadeo 1997; Gerster y Bacigalupo 2003).

Bowen (1981) dice que el incremento de densidad aparente y la disminución del contenido hídrico del suelo produce aumentos de los valores de resistencia a la penetración, aunque el cambio exacto de la misma depende del tipo de suelo.

La elevada dureza que manifiestan los pisos de labor se traduce en un obstáculo para la exploración de raíces y es frecuentemente evaluada por la resistencia a la penetración. Bowen (1981), Smith (1990) y Guerif (1994) citan a la reducción del espacio poroso, como un acomodamiento, acercamiento e interacción de las partículas de suelo y Schjonning (1990), Baver (1973), Dashko y Kagan (1980) a incrementos de la fuerza de cohesión o de fricciones, como los responsables de los altos valores de resistencia a la penetración que manifiestan los suelos.

Con relación a los sistemas de laboreo que incluyen operaciones de aflojamiento de las capas densificadas, Gill *et al.* (1996) observaron que con ellos se incrementaba la profundidad y densidad de raíces por debajo de la capa originalmente densificada. Así también, según Mora *et al.* (2001), pueden esperarse incrementos en el rendimiento de soja y maíz. Sin embargo, Ressia *et al.* (1998) observaron pequeñas ventajas en cuanto a la producción de raíces en profundidad, a favor de una situación trabajada con arado de cinceles respecto a una con arado de reja y vertedera y lo atribuyeron a la dinámica de la resistencia mecánica en función del contenido hídrico del perfil a lo largo del ciclo del cultivo, pudiéndose enmascarar de este modo los posibles efectos del laboreo profundo.

En relación a esto último Sojka *et al.* (1990) sostienen que cuando el agua es un factor limitante en el ciclo del cultivo, el subsolado puede incrementar la humedad y el N

disponible, por un aumento en el espacio explorado por las raíces.

Tardieu (1988) dice que existe una relación estadística entre la resistencia a la penetración evaluada con penetrómetros y a la penetración de raíces en el suelo.

Cholaky (2003) estudió el efecto de una labor de descompactación con subsolador alado en dos niveles de compactación del perfil, observando que la resistencia a la penetración en ambos casos fue marcadamente inferior a 1,5 Mpa, valor a partir del cual puede comenzar a restringirse el crecimiento radicular.

Con respecto a la densidad aparente, la misma es una propiedad física que afecta indirectamente el desarrollo del vegetal a través de sus efectos sobre la disponibilidad de agua, de oxígeno, la temperatura y la resistencia mecánica, (Balbuena *et al.*, 2003).

De acuerdo a Giayetto *et al.* (1992) el deterioro estructural de los suelos genera impedimentos para una adecuada infiltración de las lluvias en profundidad y provoca severos confinamientos superficiales del sistema de raíces y la consecuente disminución del volumen de suelo explorado. Ambos aspectos pueden determinar la ocurrencia de déficit hídricos al incrementarse las pérdidas de agua por escorrentías superficiales y limitar su captación en horizontes profundos.

Bonadeo y Cantero Gutiérrez (1987) demuestran que los perfiles de resistencia mecánica y densidad aparente están relacionados con la distribución y densidad de raíces del cultivo de maíz en suelos físicamente degradados

Ehlers *et al.* (1983) encuentran una estrecha relación entre resistencia a la penetración y crecimiento de raíces de Avena. Esta relación entre elevada resistencia a la penetración y menor densidad de longitud de raíces (DLR) es también citada por Bonadeo y Cantero Gutiérrez (1987) pero en cultivo de maíz.

Con relación al efecto de la DLR sobre el rendimiento de los cultivos, Bonadeo (1997) observó que las diferencias en la densidad de raíces de maní en profundidad y en la distribución de raíces en el suelo, producto de diferentes niveles de compactación del mismo, fueron dos de los factores más importantes que determinaron variaciones en el uso del agua por las plantas.

1.2-PROBLEMA A ESTUDIAR:

Debido a que con los años se ha realizado un manejo de los suelos que no ha sido el adecuado se ha ocasionado un sobrelaboreo del mismo, modificándose y alterándose como consecuencia sus propiedades. En Argentina, la degradación y deterioro de las propiedades físicas y químicas de los suelos como resultado del uso agrícola, esta presente en prácticamente la totalidad de las tierras agrícolas bajo cultivo (SAGyP-CFA, 1995). En el área central de la provincia de Córdoba, la degradación física es un proceso generalizado. En este sentido Bricchi *et al.* (1991) sostienen que los principales subgrupos de suelos de esta región se encuentran afectados. La manifestación de este deterioro se observa en la desagregación de la estructura superficial, inestabilidad y formación de sellos y en cambios estructurales debajo de la capa labrada, indicados por estados masivos relacionados con el proceso de compactación subsuperficial (Bricchi *et al.*, 1993). En lo que respecta a los suelos del sur de la Provincia de Córdoba los mismos se encuentran bajo cultivo hace aproximadamente 70 años, con una presión de uso que se fue incrementando en las últimas décadas. Están formados sobre un material loésico de textura predominantemente franco-arenosa muy fina que manifiesta una tendencia a la formación de “pisos de arado.” Estos horizontes antrópicos están caracterizados por un endurecimiento paulatino, debido a un cambio en la estructura y un aumento en la microporosidad a expensas de los mesoporos y macroporos (Kraus *et al.*, 1996; Bonadeo, 1997).

Debido a todo lo antes expuesto, se parte de la siguiente hipótesis y objetivos:

1.3-HIPOTESIS:

La ruptura de capas compactadas en un suelo franco arenoso incrementa la producción de materia seca de un cultivo forrajero anual invernal, avena (*Avena sativa L.*), al aumentar la densidad de longitud de raíces.

1.4-OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el crecimiento radicular y la producción de materia seca de un cultivo forrajero anual invernal, como lo es la avena (*Avena sativa L.*) manejado con dos sistemas de laboreo del suelo.

1.5-OBJETIVOS ESPECIFICOS:

-Realizar un seguimiento de la producción de materia seca en diferentes etapas fenológicas de un cultivo forrajero anual invernal, Avena (*Avena sativa L.*) manejado con

dos sistemas de laboreo.

-Medir el desarrollo radicular de un cultivo forrajero anual invernal, Avena (*Avena sativa L.*), en la etapa de máxima producción de raíces, manejado con dos sistemas de laboreo.

CAPITULO 2

2- MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se desarrolló en el Campo de Docencia y Experimentación de la Universidad Nacional de Río Cuarto, “Pozo del Carril”, ubicado en cercanías del paraje La Aguada, pedanía San Bartolomé, Provincia de Córdoba, Argentina, a los 25° 55` LS y 44° 41` LO, y a 550 msnm.

La Aguada se encuentra a una distancia de 50 Km al oeste de la ciudad de Río Cuarto y a 10 Km al este de las Sierras Comechingones.

2.1- CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DONDE SE REALIZO EL ESTUDIO

El relieve local y regional es normal, fuertemente ondulado con pendientes medias, complejas y de gradientes aproximados entre 3% y 8% al oeste de la unidad catastral n° 12 (Cantero *et al.*, 1986), presentando las lomadas una longitud que oscila entre los 3.000 y 6.000 m de largo (Becker *et al.*, 2001).

En este relieve afloran sedimentos de tipo loésico sobre los que se desarrollan suelos Hapludoles. Litológicamente los materiales originales de los suelos tienen una composición mineralógica muy semejante aunque a nivel granulométrico presentan diferencias muy importantes (Becker *et al.*, 1997)

Los suelos del área experimental son Hapludoles enticos, familia franca gruesa, por lo que presenta alta susceptibilidad natural a la formación de densificaciones y procesos de erosión hídrica graves con la formación de cárcavas (Cantero *et al.*, 1986). La secuencia de horizontes del perfil típico es:

A, AC, C este último a los a los 40 cm de profundidad (Anexo 1).

Las tierras del campo experimental pertenecen hidrológicamente a la cuenca del Arroyo El Cipión, el cual a su vez aporta al sistema del Arroyo Santa Catalina. La red de drenaje es de baja densidad y se encuentra ubicado en la región geomorfológica llanura Chaco-pampeana o Pampeana (Cantero *et al.*, 1986) y dentro de ella pertenece a la asociación geomorfológica ondulada periserrana (Cantú y Degiovanni, 1984).

La región pertenecía a un inmenso latifundio ganadero hasta mediados del siglo XX (Cantú, 1998), donde se produce una gran subdivisión de la tierra con la colonización del sector y la incorporación de la agricultura invernada (trigo, lino, avena y centeno).

Posteriormente se incorporó el maíz que paulatinamente desplazó a los cultivos de invierno; en la década del 60 se introduce el girasol y en el 70 la soja. En la actualidad el uso de la tierra es agrícola-ganadero con fluctuaciones dependientes del mercado internacional.

En esta región, por motivos socioculturales y económicos, las labores se realizan principalmente a favor de la pendiente sin ningún tipo de práctica de conservación. Además cuando comienza el período de precipitaciones los suelos se encuentran desnudos preparados para la siembra, produciéndose cambios en las condiciones físicas que ante las precipitaciones determinan un fuerte exceso hídrico que escurre sobre la superficie y provoca en toda la región procesos de erosión hídrica de diversa índole e intensidad, siendo este el proceso de degradación más importante (Cantero y Cantú, 1980; Cantú, 1998; Degioanni, 1998).

2.2- DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El clima de la región predominante es el subhúmedo con estación seca, y subhúmedo seco a semiárido en un área con forma triangular, ubicada en el extremo Suroeste del Departamento. La precipitación anual para el área ronda los 800 mm. El régimen de temperatura es de tipo mesotermal (Cantero *et al.*, 1986).

En las siguientes figuras se presentan las precipitaciones medias mensuales (Figura 1) y las temperaturas medias mensuales (figura 2), correspondiendo en ambos casos a una serie de registros durante el período 1994-2004

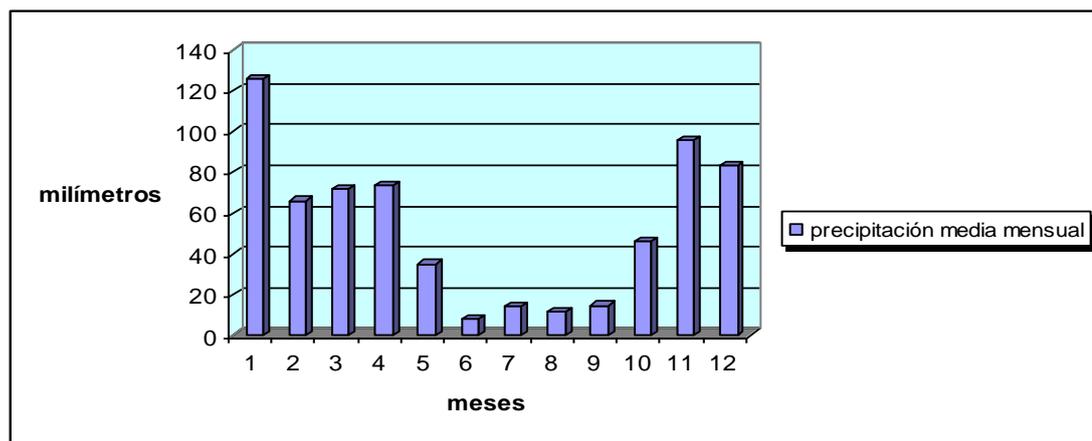


Figura 1: Precipitaciones medias mensuales registradas en la estación experimental Pozo del Carril. Período 1994 – 2004

Las lluvias son abundantes durante el período primavero-estival para disminuir

durante el otoño e invierno, presentando un régimen de distribución monzónico.

La temperatura media del mes más cálido es de 19 °C correspondiéndose al mes de marzo, mientras que la temperatura media del mes más frío es de 8,4 °C correspondiéndose al mes de junio.

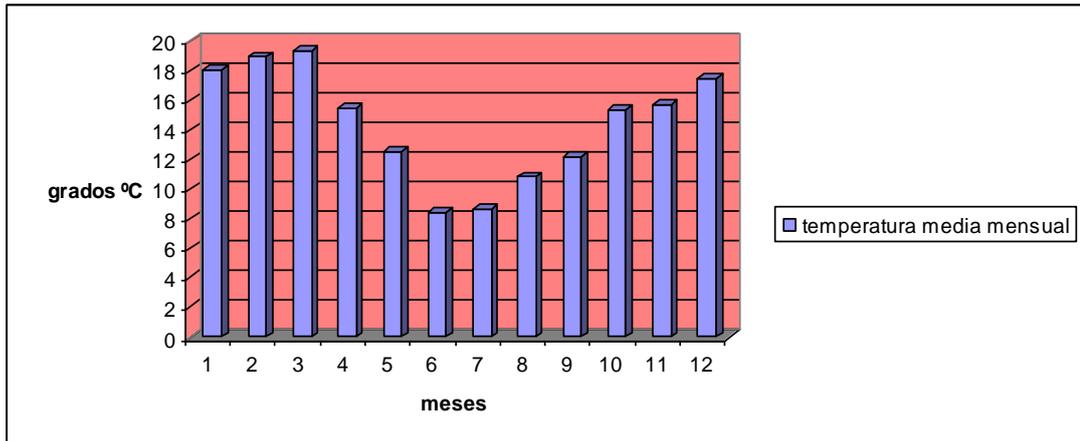


Figura 2: Temperaturas medias mensuales registradas en la estación experimental Pozo del Carril. Período 1994 – 2004.

Descripción climática correspondiente al año 2004:

Durante el año 2004, el mes que registró la mayor precipitación fue enero con 220 mm, mientras que no hubo valores de precipitación registrados durante los meses de junio y septiembre (Figura 3)

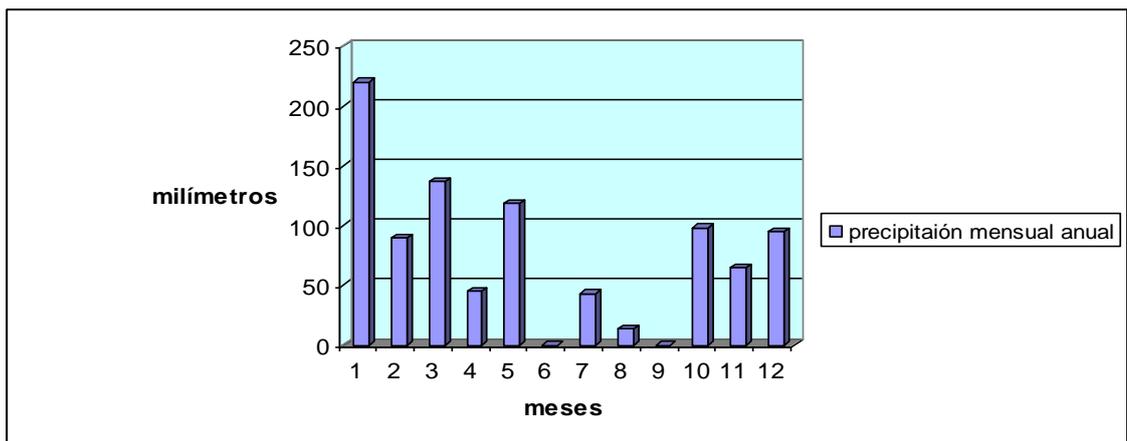


Figura 3: Precipitación mensual registrada en la estación experimental Pozo del Carril durante el año 2004.

La temperatura media más elevada se registró durante el mes de enero con 24,2° C, mientras que la más baja se produjo en el mes de julio con 9,2° C. No se tiene registro durante el mes de junio (Figura 4).

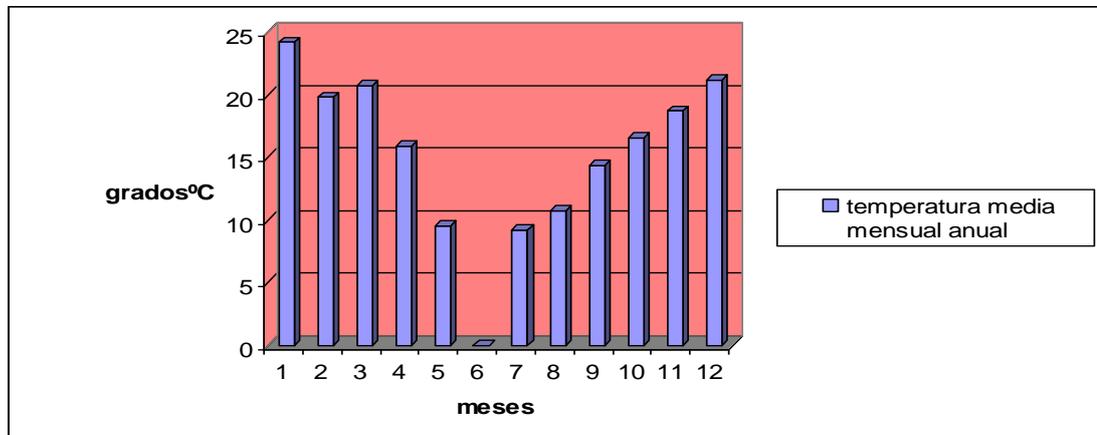


Figura 4: Temperatura media mensual registrada en la estación experimental Pozo del Carril para el año 2004.

Los vientos predominantes son del sector NE – SO de junio a diciembre y en menor frecuencia del S - N y del SO - NE de diciembre a junio. Las mayores velocidades se registran en el período comprendido desde julio a noviembre con valores promedios de 18 – 22 Km/ h y con ráfagas de hasta 50 Km/ h (Cantero *et al.*, 1986)

2.3- DESCRIPCIÓN DEL SUELO BAJO ESTUDIO

El suelo es Hapludol entico familia franca gruesa, corresponde a la serie La Aguada (INTA Y M.A.G y R.R., 1994) presentando susceptibilidad a desagregación superficial y a compactación.

La secuencia de horizontes es la siguiente: A, AC, C, y su descripción analítica se presenta en la tabla 1, del anexo 1. Se trata de suelos profundos y algo excesivamente drenados. Presentan incipiente desarrollo; el horizonte A de 17 cm de profundidad es franco, con bajo tenor de materia orgánica, débilmente ácido, y con agregados de moderada a débil estabilidad. Pasa transicionalmente (AC) a un horizonte C a los 40 cm de textura franco arenosa.

2.4- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

El presente trabajo se inició en el mes de Mayo con la siembra del cultivo forrajero anual invernal Avena var. Cristal (*Avena sativa L.*), finalizando con la cosecha del cultivo

que coincidió con el inicio de la estación del verano.

Los tratamientos consistieron en la aplicación de dos sistemas de labranza:

Labranza convencional (LC): comprendió una pasada de rastra excéntrica, rastra de dientes y posteriormente la siembra y **Labranza vertical (LV)**: incluyó una pasada de subsolador alado “reja cero” similar a la utilizado por Cisneros *et al.* (1998), efectuándose a una profundidad de trabajo 27-28 cm. aproximadamente, realizándose a posteriori la siembra. Dichas labranzas fueron realizadas con una condición de suelo friable.

Diseño experimental:

El diseño experimental llevado a cabo fue en bloques completos aleatorios, realizándose tres determinaciones para cada repetición de los dos tratamientos; el tamaño de las parcelas experimentales fue de 2m x 2m.

2.5- DESCRIPCIÓN DE LAS DETERMINACIONES REALIZADAS

En el cultivo: se evaluó la acumulación de materia seca (MS) total, según el método de Acuña *et al.* (1984) modificado, el cual consistió en dividir a las parcelas correspondientes a cada tratamiento en cuatro subparcelas, desde donde se tomaron las muestras a lo largo del ciclo del cultivo. Cada subparcela fue de 1 m², a cada una de ellas se las dividió en cuatro cuadrantes de 0,25 m² cada uno, desde donde se extrajeron las plantas de avena que eran colocadas en bolsas de nylon previamente rotuladas y luego se las acondicionaba para que estas no perdieran humedad.

Las muestras fueron secadas en estufa a 105°C hasta peso constante, para finalmente expresar los resultados en Kg de materia seca /Ha.

Densidad de longitud de raíces (DLR): La determinación se realizó a fines del ciclo del cultivo, entre fines de Octubre y principios de Noviembre, coincidiendo con la madurez de cosecha del mismo a través del método del perfil expuesto propuesto por Bohm (1979). Esta evaluación consistió en realizar el conteo de raíces con la ayuda de una grilla metálica de 90 cm de ancho por 135 cm de profundidad. Se abrieron seis calicatas realizando las mediciones en cada una de las caras de la misma, sobre cuyas paredes, perfectamente alisadas, se dispuso en sentido vertical la grilla haciendo coincidir una hilera de cultivo con el centro de la misma. Las raíces se expusieron barriendo el perfil expuesto con agua a presión (mochila manual), lavando aproximadamente 5 mm de espesor. En cada una de las divisiones de la misma se contaron las raíces con la ayuda de un cuchillo. Los

datos obtenidos fueron registrados sobre una grilla dibujada de iguales características. En cada una de las parcelas se tomó tres muestreos, con un total de seis datos por repetición y doce en todo el ensayo.

Mapa de densidad de longitud de raíces: Se llevó a cabo a través del software Excel que permitió calcular para cada una de los casilleros de la grilla, el DLR correspondiente.

En el suelo:

Descripción del perfil cultural: Para la descripción y análisis del perfil cultural, se utilizó la metodología propuesta por Gautronneau y Manichon (1987). La misma consiste en realizar una excavación en forma transversal a la dirección de la labranza de aproximadamente 0.40 m. de profundidad por 1.20 m de ancho y sobre una de sus paredes, previamente alisadas, se procede a diferenciar con la ayuda de algún elemento punzante, diferentes zonas del perfil tanto en sentido vertical como lateral. Las zonas diferenciadas son identificadas mediante palillos punzantes contorneando sus bordes. Sobre esta pared se dispone una grilla graduada, con cuya ayuda se transfiere las formas de las zonas a un papel que reproduce la grilla. Las dimensiones de la grilla utilizada fueron de 0.30 x 1.02 m. definiendo una superficie total de 0.306 m², siendo cada cuadrado de 0.03 m. de lado.

Referencia para los perfiles:

En ambos perfiles (figura 5 y 6 Anexo 2) H1, perteneció a la capa superficial, de unos pocos centímetros de espesor, caracterizada por un alto grado de pulverización estructural. H6 y H8 correspondieron a capas densificadas, comúnmente denominadas “piso de rastra” y “piso de arado” respectivamente, por corresponder a las profundidades normales de trabajo de dichos implementos. En el perfil cultural correspondiente a LV, H7 fue el sector en donde se evidenció el efecto de la labor de descompactación con reja cero

Dicha determinación del perfil se realizó posterior a la labor. La misma evidenció diferencias en la condición estructural de los suelos de ambos tratamientos (Ver anexo 2). A partir de la diferenciación de capas en sentido vertical, se establecieron los intervalos de profundidad en los que se realizó el análisis estadístico de las variables estudiadas: Densidad Aparente y Resistencia Mecánica: 0-12.5, 12.5-22.5, 22.5-30 cm de profundidad y para el caso de la Densidad de Longitud de raíces se consideraron además y siguiendo un criterio arbitrario las siguientes capas del perfil: 30-42.5 cm, 42.5-60 cm y más de 62.5 cm de profundidad.

Resistencia Mecánica (RM): A los fines de establecer relaciones entre variables se tomaron los resultados obtenidos por Soave (2006)¹

Densidad aparente (DAP): Las mediciones se llevaron a cabo en dos momentos del cultivo; antes de la siembra y previo a la cosecha. Se realizaron tres muestreos por parcela con un total de seis datos por repetición y doce datos totales. La determinación de la misma se realizó con una sonda de rayos gamma (Humboldt Scientific.inc, 1998) hasta una profundidad de 30 cm tomándose registros cada: 2.5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5 y 30 cm.

Estrés radicular por densidad aparente: Con el objeto de estimar qué influencia tuvo la densidad aparente sobre el crecimiento radicular, se presenta a continuación este método denominado estrés radicular por densidad aparente. El mismo asume que el estrés por resistencia mecánica (cuando el suelo está a capacidad de campo) se iguala al estrés por densidad aparente (es decir que solo existe el estrés por densidad). A medida que el suelo se seca el estrés será mayor al calculado ya que el estrés por resistencia va aumentando. Para ello, y de acuerdo a lo propuesto por Allan, *et al.*(1991) se estimarán los valores de DAP máxima a la cual no hay crecimiento de raíces y la densidad óptima para el crecimiento de las mismas a través de ecuaciones de pedotransferencia teniendo en cuenta el porcentaje de arena del suelo en estudio.

$$\text{BDX} = 1,6 + 0,004 * \text{PORCENTAJE DE ARENA} = 1,6 + 0,004 * 48,3 = 1,79$$

$$\text{BDO} = 1,1 + 0,005 * \text{PORCENTAJE DE ARENA} = 1,1 + 0,005 * 48,3 = 1,34$$

Donde:

BDX= Valor de DAP al cual no hay crecimiento radicular.

BDO= DAP óptima para el crecimiento radicular.

A los fines de evaluar el estrés radicular por densidad aparente se tomaron los valores de DAP de la capa que va desde los 22.5-30 cm para ver el efecto de esta restricción sobre el crecimiento radicular.

A continuación se expresa la formula de cálculo:

¹ Tesis de grado “ Influencia de la labranza vertical sobre la compactación y su efecto sobre la productividad de un cultivo forrajero anual” (2006) quien evaluó la resistencia mecánica en el mismo ensayo que el del presente trabajo y con el mismo diseño experimental.

SBD= $\frac{BDX - BD}{BD}$

BDX - BDO

Donde:

SBD= Estrés radicular por Densidad Aparente

BD= DAP medida

Los valores que puede dar como resultado la ecuación se encuentran en el rango entre 0 y 1, en donde se obtiene como resultado 0 no hay crecimiento de raíces mientras que si es 1 el crecimiento es normal.

2.6-ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y RELACION ENTRE VARIABLES

El análisis estadístico se llevó a cabo a través del software infostat (Infostat, 2000) que permitió determinar si había diferencia o no entre labranzas mediante un análisis de la varianza (ANOVA)

Para cada una de las variables estudiadas (DAP, DLR, RM), a excepción de la producción de materia seca, el análisis estadístico se realizó considerando de manera independiente cada una de las profundidades definidas a partir de las capas del perfil cultural.

Se efectuó también un análisis de correlación entre DAP y RM para ver la influencia de una sobre la otra y de DLR con DAP y RM, para poder visualizar la influencia de la resistencia mecánica sobre el crecimiento de las raíces.

CAPITULO 3

3- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1- DENSIDAD DE LONGITUD DE RAICES (DLR)

Los valores de DLR para cada tratamiento evaluado fueron relativamente parecidos, no mostrando diferencias significativas entre ambos (tabla 2).

Tabla 2: Valores promedio de DLR (cm de raíz/cm³ de suelo) en las capas del perfil cultural de cada tratamiento de labranza en el momento de fructificación del cultivo de *Avena sativa* L. (10/10/04).

Capa del perfil cultural (cm)	Labranza convencional	Labranza vertical
	Densidad de longitud de raíces (cm de raíz/cm ³ de suelo) promedio para cada capa	
0-12,5	1,19 a	0,98 a
12,5-22,5	0,52 a	0,75 a
22,5-32,5	0,35 a	0,31 a
32,5-42,5	0,33 a	0,31 a
42,5-62,5	0,25 a	0,23 a
+62,5	0,10 a	0,09 a

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos de labranza .

De acuerdo a los valores de DLR observados, puede sostenerse que el valor de DLR en todo el espesor del suelo estudiado fue relativamente bajo si se considera el sistema de raíces en caballera que posee la avena. Con respecto a este tema Mengel y Barber (1974) hacen referencia a que las máximas densidades de maíz (4,1 cm/cm³), se encuentran en los primeros 30 cm de profundidad y se alcanzan a los 79 días después de la siembra. . Este comportamiento podría deberse a que durante los meses de invierno e inicio de primavera que abarcó el ciclo del cultivo, se registraron escasas precipitaciones con lo que de acuerdo a Soave, (2006)¹, se acentuó la resistencia mecánica (RM) ofrecida por el suelo de ambos sistemas de labranza, presentando valores promedio próximos a los 4 MPa entre los 12 a los 36 cm en el caso de LC y entre los 24 a los 36 cm en LV en el momento de implantación del cultivo, superando este valor en el momento en que se evaluó la DLR (fructificación del

cultivo). Con relación a las condiciones físicas del perfil que resultan apropiadas para el crecimiento vegetal, Vepraskas (1988) afirma que a partir de 1,5 MPa comienza a restringirse el crecimiento radical y que a partir de una densidad aparente de $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$, la compactación, en combinación con la textura y en particular la proporción de arenas muy finas, puede generar restricciones para el crecimiento radical a tensiones de humedad de 0,1 MPa. Estos resultados de RM no coincidieron con los obtenidos por Cholaky (2003) quien estudió el efecto de una labor de descompactación con subsolador alado en dos niveles de compactación del perfil, observando que la resistencia a la penetración en ambos casos fue marcadamente inferior a 1,5 Mpa, valor a partir del cual puede comenzar a restringirse el crecimiento radicular. Teniendo en cuenta los valores observados por Vepraskas, (1998) podríamos decir que en las condiciones de resistencia mecánica imperantes en esta experiencia durante el desarrollo del cultivo de avena restringieron el crecimiento radicular del mismo.

Asimismo, este escaso número de raíces podría deberse a una pérdida de las mismas por senescencia, las cuales se estiman en un 1 % de materia seca radicular. Este valor se puede incrementar por la presencia de déficit de oxígeno o también por déficit hídrico, haciéndose este valor más notorio luego de la fructificación a partir de la senescencia normal del cultivo (Allan *et al.* 1991)

Respecto a lo anterior, Casel y Nelson (1979) hacen referencia a que la resistencia del suelo en la zona de las raíces, se usa frecuentemente como una medida de la compactación del suelo; valores elevados de resistencia denotan condiciones compactadas que pueden impedir el crecimiento de raíces y reducir la producción de los cultivos. Tardieu, y Manichon (1985) citan además de la resistencia a la penetración, la porosidad y el potencial agua como las principales variables del suelo y diversos autores estudian el comportamiento mecánico para poder predecir la máxima presión que son capaces de ejercer. Así Whiteley *et al* (1981) hacen referencia a la presión de curvamiento, Dexter (1987) considerando variables del suelo y de la planta, modeliza la velocidad de elongación de un ápice radical en función de un balance de presiones que actúan sobre la raíz y que a su vez dependen del potencial agua del suelo y de la raíz, y de la resistencia mecánica del suelo.

3.1.1-Mapa de distribución promedio de raíces en el perfil con labranza convencional y vertical

El mapa de distribución de densidad de raíces indicó que en ambos tratamientos, la DLR disminuyó con la profundidad. Tanto en LC (figura 7) como en LV (figura 8) a partir

de los 20 cm de profundidad, la DLR disminuyó marcadamente alcanzando valores inferiores o iguales a 0,25 cm de raíz/cm³ de suelo. Esto podría atribuirse a la elevada RM del suelo, la cual no habría sido modificada por la labranza vertical, efecto por el cual las raíces al encontrarse con una capa con elevada resistencia tienden a crecer en sentido lateral, donde el medio es más favorable (Tardieu y Manichon 1985) y penetran escasamente la capa compactada. Por otro lado y en relación al tipo de labranza, se podría sostener que la LV no produjo la fractura del espesor total de la capa densificada que presentaba el perfil.

De la comparación entre ambos mapas de DLR, surge que la distribución promedio de raíces en el perfil con labranza vertical denota en los primeros 10 cm de profundidad valores menores de DLR que en el tratamiento con labranza convencional, predominando en el mencionado estrato de suelo. el rango de 0.25-0.50 cm de raíz /cm³ de suelo y 0.50-0.75 cm de raíz/cm³ de suelo en LV y LC, respectivamente. Sin embargo, podría sostenerse que en el perfil con LC se produjo una concentración de raíces por encima de una capa densificada, comúnmente denominada “piso de rastra”, habitualmente desarrollada entre los 7-8 cm de profundidad, lo cual estaría asociado a la mayor proporción de raíces observadas, ya que en los primeros diez centímetros el porcentaje de las mismas es de un 41% del total de las del perfil, alcanzando valores de DLR de hasta los 0.75-0.87 cm de raíz/ cm³ suelo, mientras que en el perfil que recibió la labranza vertical, la capa mencionada habría sido fragmentada y por lo tanto las raíces pudieron explorar de manera más uniforme los primeros 20 cm del perfil. Por debajo de esta profundidad la DLR en ambos tratamientos se redujo, indicando que la labranza vertical no se realizó adecuadamente si se considera que, según la evaluación del perfil cultural, la capa densificada correspondiente al “piso de arado” se extendía hasta los 28 cm de profundidad aproximadamente. Asimismo podríamos decir que al ser la avena un cultivo con un sistema radicular en cabellera, las mismas podrían haber superado el piso de rastra mediante planos de debilidad lo que explicaría que por debajo de dicho piso se encuentren raíces (Allan, *et al.* 1991)

Este comportamiento también podría estar relacionado con las condiciones de sequía durante el ciclo del cultivo, que produjeron un incremento de la RM a valores promedios próximos superiores a 4 Mpa en algunas de las etapas del cultivo de acuerdo a lo estimado por Soave, (2006)¹, perjudicando de esta manera a la exploración de las raíces en el perfil y ocasionando la mencionada concentración de ellas en las primeras capas del mismo. Por otro lado, posiblemente la mayor remoción superficial del suelo producida en LC con respecto a LV, marcó esta diferencia a favor de la labranza convencional ya que según lo expuesto por Ressa *et al.* (1998), quienes evaluaron el efecto de diferentes sistemas de laboreo sobre el

desarrollo radicular y rendimiento de maíz, encontraron que los sistemas de labranza que generan remoción del suelo incrementan el espesor del perfil en donde los valores de resistencia mecánica no son perjudiciales para el crecimiento radicular.

DLR (cm de raíz/cm³ de suelo)

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
2,5	0,87	0,78	0,87	0,71	0,87	0,68	0,75	0,43	0,43	0,51	0,46	0,39	0,53	0,54	0,63	0,69	0,73
5	0,70	0,69	0,55	0,71	0,62	0,71	0,68	0,71	0,57	0,70	0,64	0,63	0,64	0,62	0,62	0,82	0,65
7,5	0,66	0,75	0,66	0,74	0,52	0,59	0,77	0,55	0,53	0,48	0,65	0,54	0,62	0,72	0,63	0,59	0,63
10	0,50	0,65	0,43	0,43	0,37	0,45	0,53	0,45	0,37	0,55	0,56	0,53	0,47	0,56	0,65	0,61	0,69
12,5	0,45	0,53	0,49	0,42	0,27	0,37	0,41	0,46	0,35	0,37	0,43	0,45	0,47	0,62	0,59	0,57	0,39
15	0,29	0,37	0,37	0,30	0,32	0,27	0,27	0,28	0,35	0,24	0,29	0,31	0,41	0,37	0,46	0,43	0,31
17,5	0,31	0,40	0,27	0,19	0,20	0,23	0,23	0,25	0,21	0,18	0,22	0,30	0,35	0,39	0,35	0,40	0,31
20	0,39	0,56	0,51	0,39	0,29	0,31	0,32	0,36	0,39	0,36	0,32	0,43	0,50	0,47	0,46	0,43	0,53
25	0,15	0,20	0,23	0,14	0,27	0,15	0,15	0,16	0,18	0,17	0,17	0,16	0,21	0,23	0,26	0,24	0,22
30	0,20	0,19	0,21	0,20	0,21	0,19	0,14	0,13	0,18	0,14	0,14	0,15	0,24	0,21	0,23	0,21	0,27
35	0,16	0,16	0,18	0,21	0,16	0,14	0,13	0,10	0,16	0,13	0,16	0,16	0,17	0,13	0,19	0,22	0,24
40	0,19	0,13	0,18	0,18	0,12	0,16	0,18	0,16	0,17	0,12	0,22	0,17	0,16	0,16	0,17	0,20	0,24
45	0,21	0,14	0,21	0,18	0,14	0,15	0,13	0,16	0,11	0,12	0,17	0,13	0,17	0,13	0,14	0,14	0,18
50	0,12	0,13	0,15	0,19	0,14	0,09	0,12	0,13	0,14	0,12	0,17	0,14	0,10	0,15	0,19	0,15	0,12
55	0,10	0,10	0,16	0,15	0,12	0,16	0,11	0,16	0,09	0,15	0,13	0,09	0,11	0,16	0,11	0,13	0,11
60	0,10	0,09	0,10	0,11	0,11	0,10	0,13	0,13	0,11	0,13	0,19	0,05	0,09	0,07	0,08	0,09	0,13
65	0,10	0,10	0,09	0,12	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,12	0,09	0,11	0,08	0,12	0,07	0,08
70	0,12	0,11	0,13	0,14	0,09	0,08	0,05	0,10	0,12	0,08	0,11	0,09	0,14	0,15	0,08	0,10	0,09
75	0,11	0,08	0,07	0,12	0,09	0,09	0,09	0,06	0,07	0,08	0,09	0,06	0,11	0,11	0,06	0,07	0,06
80	0,09	0,11	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,07	0,08	0,08	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07	0,10	0,09
85	0,11	0,09	0,08	0,10	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,09	0,05	0,05	0,09	0,08	0,06	0,08	0,09
90	0,07	0,09	0,09	0,04	0,04	0,07	0,04	0,06	0,07	0,07	0,09	0,05	0,09	0,08	0,06	0,04	0,06
95	0,11	0,11	0,09	0,05	0,03	0,06	0,05	0,08	0,05	0,04	0,07	0,02	0,03	0,04	0,06	0,03	0,04
100	0,11	0,06	0,08	0,04	0,06	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,07	0,04	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04
105	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05	0,03	0,06	0,04	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
110	0,04	0,03	0,01	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,00
115	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
120	0,04	0,05	0,05	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00
125	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00
130	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
135	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00

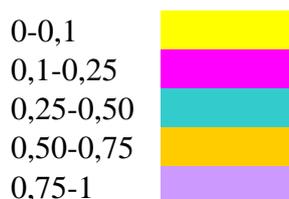


Figura 7: Mapa de Densidad de Longitud de raíces (cm. de raíz/cm³ de suelo) promedio entre repeticiones para labranza convencional.

DLR (cm de raíz/cm³ de suelo)

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
2,5	0,78	0,67	0,55	0,64	0,61	0,49	0,46	0,46	0,41	0,46	0,58	0,56	0,49	0,54	0,51	0,68	0,68
5	0,64	0,57	0,34	0,47	0,71	0,57	0,54	0,43	0,61	0,47	0,54	0,56	0,42	0,46	0,51	0,64	0,53
7,5	0,55	0,50	0,43	0,44	0,42	0,44	0,45	0,35	0,44	0,57	0,64	0,52	0,60	0,48	0,54	0,59	0,64
10	0,53	0,37	0,40	0,43	0,42	0,36	0,42	0,41	0,59	0,53	0,48	0,45	0,48	0,47	0,50	0,54	0,65
12,5	0,39	0,33	0,33	0,40	0,39	0,41	0,41	0,36	0,35	0,41	0,25	0,33	0,36	0,38	0,34	0,43	0,47
15	0,37	0,31	0,25	0,28	0,23	0,29	0,35	0,21	0,31	0,32	0,30	0,27	0,25	0,28	0,29	0,31	0,45
17,5	0,37	0,25	0,27	0,27	0,24	0,33	0,43	0,32	0,29	0,28	0,27	0,33	0,41	0,29	0,31	0,35	0,37
20	0,25	0,29	0,33	0,33	0,27	0,37	0,30	0,37	0,48	0,34	0,33	0,34	0,37	0,31	0,36	0,29	0,29
25	0,16	0,18	0,14	0,16	0,16	0,13	0,10	0,16	0,17	0,17	0,15	0,17	0,14	0,11	0,15	0,14	0,17
30	0,16	0,11	0,12	0,20	0,15	0,12	0,12	0,14	0,10	0,18	0,13	0,17	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14
35	0,20	0,18	0,16	0,14	0,14	0,16	0,13	0,15	0,14	0,24	0,18	0,17	0,11	0,13	0,16	0,12	0,16
40	0,17	0,15	0,14	0,22	0,14	0,10	0,12	0,13	0,14	0,11	0,13	0,15	0,13	0,12	0,13	0,16	0,13
45	0,14	0,15	0,11	0,12	0,13	0,11	0,09	0,13	0,11	0,12	0,10	0,16	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11
50	0,14	0,17	0,11	0,10	0,13	0,09	0,10	0,09	0,12	0,15	0,11	0,15	0,13	0,12	0,13	0,12	0,09
55	0,11	0,13	0,13	0,13	0,15	0,12	0,17	0,12	0,15	0,15	0,09	0,09	0,11	0,06	0,11	0,11	0,08
60	0,09	0,08	0,10	0,09	0,11	0,13	0,10	0,09	0,11	0,11	0,10	0,07	0,07	0,09	0,09	0,10	0,12
65	0,08	0,09	0,09	0,08	0,15	0,09	0,06	0,09	0,08	0,07	0,09	0,09	0,08	0,06	0,08	0,07	0,10
70	0,10	0,07	0,06	0,12	0,12	0,09	0,07	0,09	0,11	0,07	0,09	0,11	0,09	0,06	0,09	0,08	0,08
75	0,09	0,07	0,08	0,14	0,10	0,09	0,08	0,09	0,07	0,06	0,06	0,10	0,08	0,06	0,07	0,05	0,10
80	0,08	0,06	0,06	0,07	0,06	0,08	0,07	0,10	0,09	0,11	0,08	0,10	0,10	0,06	0,09	0,08	0,08
85	0,08	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,08	0,09	0,06	0,08	0,06	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,08
90	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,05	0,06	0,10	0,06	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,03
95	0,06	0,05	0,06	0,05	0,08	0,07	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,06	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04
100	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,02
105	0,03	0,03	0,02	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,05	0,02	0,04	0,04	0,05	0,02	0,04	0,03	0,04
110	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,05	0,02	0,03	0,03	0,04	0,01	0,03	0,02	0,03
115	0,04	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02
120	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
125	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
130	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01
135	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01

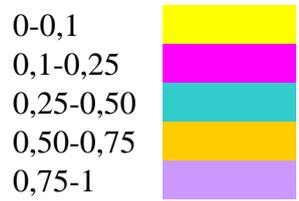


Figura 8: Mapa de Densidad de Longitud de Raíces (cm. de raíz/cm³ de suelo) promedio entre repeticiones para labranza vertical.

El perfil de distribución de DLR en profundidad indica que en LC en los primeros 12.5 cm la DLR alcanzó valores promedios de hasta 1.19 (cm de raíz/ cm³ de suelo) disminuyendo bruscamente en la capa que va desde los 12.5-22.5 cm, para después disminuir

gradualmente con la profundidad (figura 9). En LV si bien en los primeros 12,5 cm el valor de DLR fue inferior al de LC, la disminución en la densidad de longitud de raíces fue más gradual que en la situación anterior, observándose un valor de DLR mayor a más profundidad. A partir de estas diferencias se podría sostener que el perfil que recibió la labranza vertical generó un ambiente más homogéneo para el crecimiento de raíces que el producido por la labranza convencional

DLR (cm de raíz/ cm³ de suelo) con labranza convencional

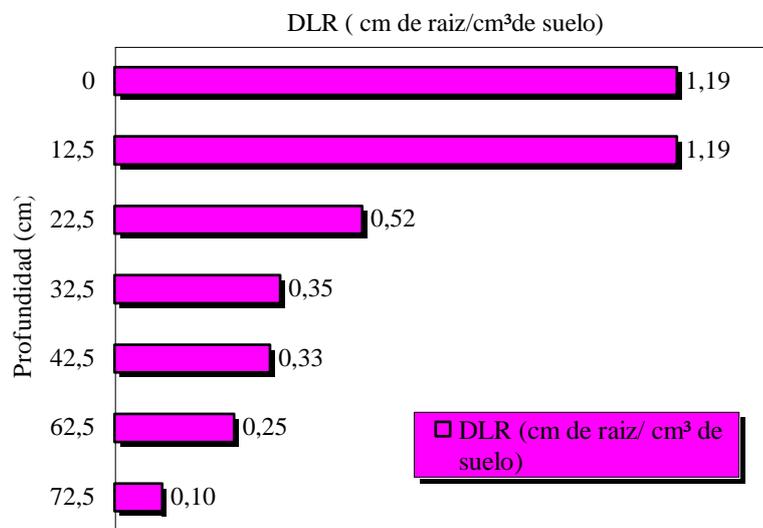


Figura 9: Perfil de Densidad de longitud de raíces (cm de raíz/ cm³ de suelo) promedio entre repeticiones para cada capa con labranza convencional.

De acuerdo a la distribución promedio por capas del perfil se puede observar que la mayor DLR se encuentra hasta aproximadamente los 30 cm. del perfil. La DLR global, es decir, de todo el perfil estudiado, presento para LC un valor de 101,14 cm de raíz en los cm³ totales del perfil analizado y si se tiene en cuenta la distribución antes dicha el porcentaje de las mismas como DLR hasta los 30 cm es de 72.3%.

DLR (cm de raiz/cm³ de suelo) con labranza vertical

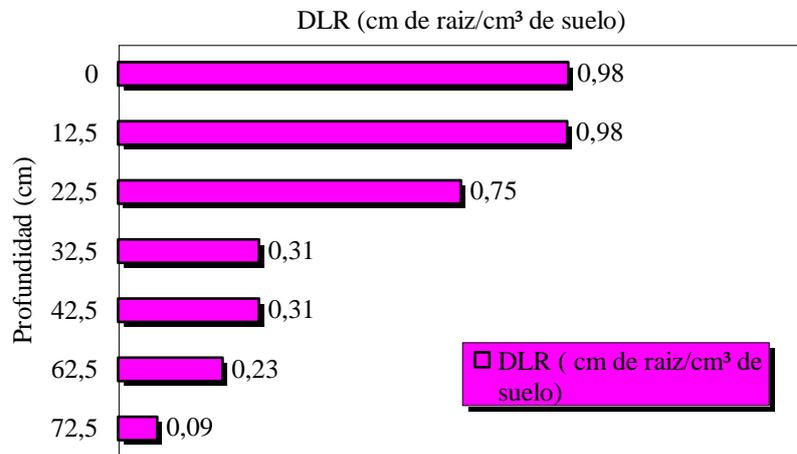


Figura 10: Perfil de Densidad de Longitud de Raíces (cm de raíz/ cm³ de suelo) promedio en Labranza vertical.

De acuerdo a la distribución promedio por capas del perfil se puede observar que los valores de DLR en LV fueron menores que en LC ya que la DLR global fué de 87,29 cm de raíz en los cm³ de suelo totales analizados mientras que los valores observados como porcentaje de DLR hasta los 30 cm fue de 71,7% , pero a diferencia de esta ultima la distribución se mantuvo más constante a lo largo del perfil con valores similares, ya que podemos ver que en la capa de 0-12.5 el valor de DLR fue de 0.98 (cm de raíz/ cm³ de suelo) mientras que para la capa subsiguiente de 12.5-22.5 cm solo disminuyen hasta los 0.75 (cm de raíz/cm³ de suelo). Para el caso de la labranza convencional, en la capa de 0-12.5cm alcanzó valores de 1.19 (cm de raíz/cm³ de suelo) mientras que para la capa subsiguiente el valor cae hasta 0.52 cm de raíz/ cm³ de suelo.

3.2-- DAP INICIAL

3.2.1- Momento 1: Implantación (25/06/04)

Los valores de DAP promedio de cada capa correspondiente al perfil cultural no mostraron diferencias entre tratamientos (tabla 3).

Tabla 3: Densidad Aparente (Mg /m³ de suelo) promedio de las capas del perfil cultural en el momento de implantación del cultivo (25/06/04).

Espesor de la capa (cm)	Densidad Aparente (Mg/cm ³ de suelo)	
	Labranza convencional	Labranza vertical
0-12,5	1,08a	1,18a
12,5-22,5	1,41a	1,49a
22,5-30	1,43a	1,45a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas (p 0.05), entre tratamientos.

Los valores de DAP de la capa superficial fueron los más bajos del perfil, mostrando un marcado incremento con la profundidad. Este comportamiento puede deberse a la historia agrícola del lote, asociada al tránsito y laboreo con maquinarias que puede haber ocasionado la compactación del mismo, evidenciándose a través del aumento de la densidad aparente el cual es un índice de la compactación alcanzada por el suelo ante la aplicación de fuerzas originadas por el laboreo o tránsito sobre los mismos. Al aplicar estas fuerzas sobre el suelo se produce una reducción del espacio poroso, especialmente de poros grandes y un rearrreglo de partículas (Bowen 1981, Smith 1990); esto produce un acercamiento de las mismas y una mayor manifestación de las fuerzas de interacción sólido-sólido, lo que redundaría en elevadas resistencias a la penetración (Dasko y Kagan 1980, Lerink 1994).

Para el mismo momento se registraron valores de RM promedio próximos a los 4 MPa entre los 12 a los 36 cm en el caso de LC y entre los 24 a los 36 cm en LV en el momento de implantación del cultivo, superando este valor en el momento en que se evaluó la DLR (fructificación del cultivo).

Variación de la DAP en cada una de las capas del perfil cultural analizadas.

En la capa correspondiente a los primeros 12,5 cm, la DAP fue menor en labranza convencional que en labranza vertical, aunque en ambos caso se mantuvo en valores que no alcanzaron los 1.2 Mg .cm⁻³ de suelo (Figura 11). Esta tendencia podría estar asociada a la mayor remoción superficial producida en LC con respecto a LV, debido al pasaje de la rastra excéntrica y de dientes. Ressoa *et al.* (1998) quienes evaluaron el efecto de diferentes

sistemas de laboreo sobre el desarrollo radicular y rendimiento de maíz, encontraron que los sistemas de labranza que generan remoción del suelo incrementan el espesor del perfil en donde los valores de resistencia mecánica no son perjudiciales para el crecimiento radicular

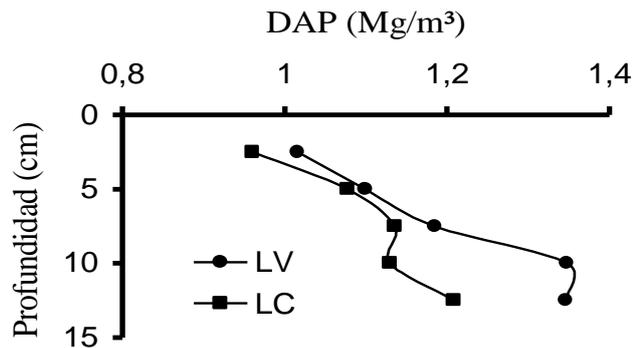


Figura 11: Densidad Aparente (Mg/m³) para la capa de 0-12.5 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza.

En la capa comprendida entre los 12,5 y 22,5 cm de profundidad, la LC mostró valores de DAP inferiores a la LV, alcanzando valores similares recién a los 22,5 cm. de profundidad (Figura 12). Este comportamiento resultó inesperado, considerando que el objetivo del tratamiento con labranza vertical es fracturar capas densificadas, evidenciando en este caso que la labor no logró modificar esta condición. Esto podría estar asociado a condiciones inadecuadas de humedad al momento del laboreo (Cholaky, 2003; Koleen, 1994), a aspectos de configuración de la propia herramienta, como es el caso de la relación separación entre cuerpos / profundidad de trabajo, ocasionando escasa fractura, así como irregularidades en la profundidad de trabajo de la herramienta de LV. Con respecto a este tema, Spoor y Godwin (1978) evaluaron el aflojamiento profundo del suelo producido por diferentes púas rígidas. Encontraron que el patrón de disturbio del suelo en superficie era similar para todos ellos difiriendo, en cambio, a mayores profundidades de trabajo. Esta forma de ruptura del suelo era coincidente a lo encontrado en un amplio rango de condiciones de humedad, densidad y textura del suelo. A una profundidad de trabajo superficial, el suelo es desplazado hacia delante, arriba y lateralmente, rompiéndose a lo largo de planos bien definidos que se propagan desde el extremo del órgano activo de la

herramienta hacia la superficie, con un ángulo de aproximadamente 45° con respecto a la horizontal (modo de ruptura en falla creciente). A medida que la profundidad de trabajo es mayor, se alcanza la profundidad crítica, a partir del cual el suelo que se encuentra en la base de la reja comienza a desplazarse solamente hacia delante y hacia los costados, creando compactación en profundidad (modo de ruptura lateral), sin embargo, las características texturales del suelo bajo estudio no estarían sujetos a este tipo de fractura, el cual se manifiesta en suelos con mayor proporción de arcilla. Estos mismos autores sostienen que existe una profundidad crítica para cada forma y configuración de herramienta y para cada condición de humedad y densidad del suelo laboreado. En relación a la geometría de la herramienta, mientras mas ancha es la reja menor es el ángulo de ataque, menos densa sea la capa superficial del suelo y menor el contenido de humedad, mas profunda será la profundidad crítica. La adición de alas puede incrementar la profundidad crítica, dependiendo del ancho del ala, la altura de elevación de la misma y de las condiciones del suelo. Sostienen además, que el aflojamiento del suelo probablemente durará más tiempo, si las unidades estructurales disturbadas sufren un reacomodamiento o reorientación cuando caen unas sobre otras. El reacomodamiento más efectivo se produce con rejas aladas y mientras mayor sea la altura de elevación de la misma, mejor es la reorientación de las nuevas unidades estructurales.

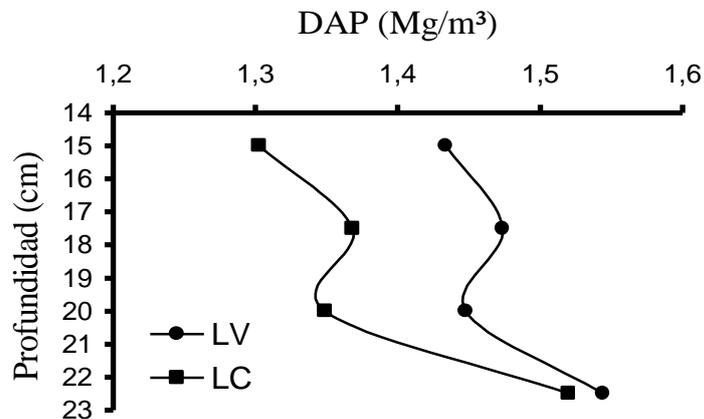


Figura 12: Densidad Aparente (Mg/m³) para la capa de 12.5-22.5 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza.

En el espesor correspondiente a los 22.5-30 cm de profundidad, las tendencias observadas en las capas anteriores se invirtieron, siendo la DAP en labranza vertical menor a la de labranza convencional, a excepción de los 30 cm en donde esta tendencia volvió a

invertirse (Figura 13). Estos resultados podrían atribuirse al efecto de la labranza vertical, coincidiendo este espesor con la profundidad de trabajo del órgano activo de la herramienta utilizada en ella, no habiéndose producido expansión del fracturamiento hacia las capas superiores del perfil por los motivos mencionados precedentemente.

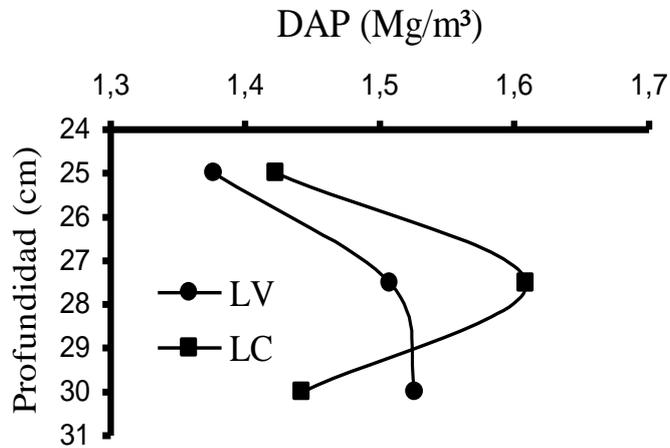


Figura 13: Densidad Aparente (Mg/m^3) para la capa de 22.5-30 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza.

3.3-DAP FINAL

3.3.1-Momento 2: Fructificación (02/12/04)

De igual modo que en el momento de implantación del cultivo, los valores promedio de DAP de cada capa del perfil cultural hacia el momento final del ciclo del cultivo, no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (tabla 4). En general, la tendencia observada en la magnitud de los valores de DAP de cada una de las capas consideradas fue similar en ambos momentos de medición.

Tabla 4: Densidad aparente (Mg . m³ de suelo) promedio de cada capa del perfil cultural de ambos tratamientos de labranza en el momento de fructificación del cultivo.

Espesor de la capa (cm)	Densidad Aparente (Mg/cm ³ de suelo)	
	Labranza convencional	Labranza vertical
0-12,5	1.19 a	1.19 a
12,5-22,5	1.39 a	1.43 a
22,5-30	1.30 a	1.35 a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas (p 0.05).entre tratamientos

Como se puede observar, la DAP aumentó con la profundidad, alcanzando sus valores mas altos en la capa de 12.5-22.5 cm. En relación a ello, Balbuena *et al.* (2002) evaluaron el efecto del número de pasadas sobre la compactación del suelo y observaron que en todos los tratamientos se produjo un aumento de la DAP con respecto al testigo en los distintos estratos de medición (0-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm) pero solo tratamientos con 10 y 12 pasadas alcanzaron diferencias estadísticamente significativas.

Al observar en detalle los valores de DAP en el espesor de cada una de las capas del perfil, surge que en los primeros dos centímetros de suelo el valor de DAP fue mayor en labranza vertical que en labranza convencional debido probablemente a que en esta última las labores con rastra excéntrica y rastra de dientes previo a la siembra, produjeron una mayor remoción superficial que en la situación con LV. Al profundizar, la DAP en labranza vertical disminuyó marcadamente con respecto a la de LC, para mantenerse en valores levemente inferiores a este tratamiento en el resto del espesor de la capa, evidenciando en ambos casos una tendencia hacia el incremento (Figura 14).

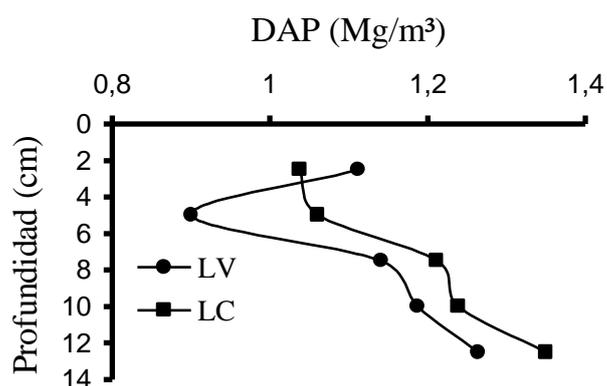


Figura 14: Densidad Aparente final (Mg/m^3) para la capa de 0-12.5 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza

De igual modo que en el momento inicial de evaluación, en la capa comprendida entre los 12,5 y los 22,5 cm, la LC mantuvo valores de DAP inferiores a los de LV (Figura 15).

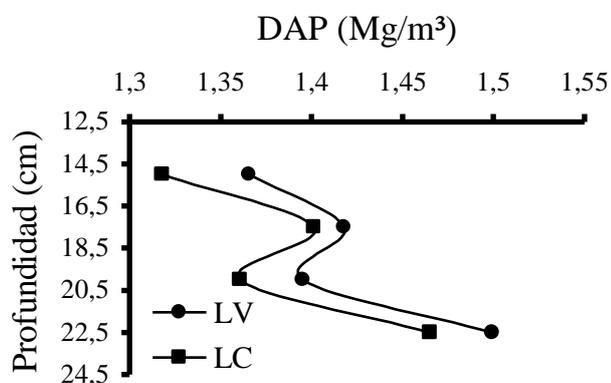


Figura 15: Densidad Aparente final (Mg/m^3) para la capa de 12.5-22.5 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza

En lo que respecta a la capa comprendida entre los 22,5-30 cm de profundidad, los valores de DAP de ambos tratamientos fueron similares (Figura 16), pudiéndolo atribuir a un proceso de recompactación si se considera que en el momento inicial, la DAP de esta capa

era inferior en LV con respecto a LC.

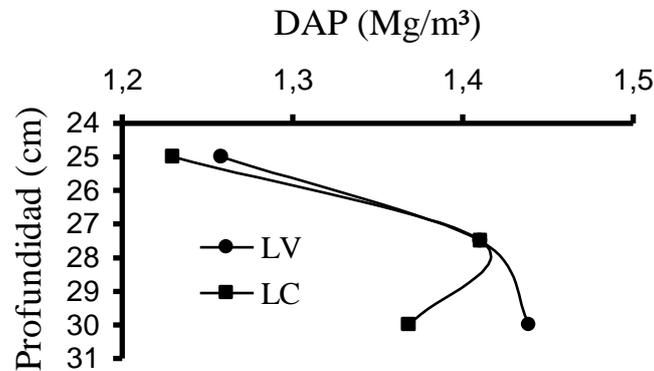


Figura 16: Densidad Aparente final (Mg/m^3) para la capa de 22.5-30 cm de profundidad en ambos tratamientos de labranza

Carter (1988) comparó la persistencia del aflojamiento del suelo con arado de rejas, paraplow y siembra directa. Encontró que al cabo de 5 meses después de la labor, la profundidad del suelo aflojado con arado de rejas había declinado en un 30% y en el caso del suelo laboreado con paraplow en un 60%. Observó, además, que en el transcurso de la estación de crecimiento del cultivo, en todos los tratamientos, se produjo un incremento gradual de la resistencia a la penetración. Esto probablemente se debió a la reconsolidación producida por las operaciones de manejo de postsiembra y a las uniones entre partículas y agregados del suelo, debido a los procesos de humedecimiento y secado bajo la influencia de raíces de las plantas (Koolen y Kuipers, 1983)

A su vez Vepraskas *et al.* (1995) encontraron que el efecto del subsolado sobre el crecimiento de raíces, se mantenía alrededor de los dos años posteriores a la labranza, para desaparecer al tercer año por efecto de la recompactación. Estos autores sostienen, además, que el beneficio máximo de la labranza profunda, sobre los rendimientos, ocurrió cuando la misma se realizó anualmente, coincidiendo con lo postulado por Busscher *et al.* (1986) quienes plantean que el efecto del subsolado se manifiesta en las etapas tempranas del crecimiento de las raíces de cultivos, ya que posteriormente se produce la recompactación de las capas aflojadas.

3.4-PRODUCCIÓN TOTAL DE MATERIA SECA

El análisis de materia seca no arrojó diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los momentos evaluados (tabla 5). Sin embargo, el valor final de producción de materia seca del verdeo producido en LV duplicó al de LC.

Tabla 5: Producción de materia seca (Kg/Ha) promedio para labranza convencional y vertical.

Momento de muestreo	Labranza Vertical	Labranza Convencional
Macollaje	245,42a	269.14a
Fructificación	1324a	691.35a

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos de labranza.

Entre algunas de las posibles causas que podría haber influido en la mayor producción de MS en LV al momento de fructificación, se puede mencionar a la DLR, ya que más allá de que se visualizó similitud en el patrón de raíces para ambos tratamientos (figuras 9 y 10 de este mismo capítulo), y que al momento de macollaje los valores de materia seca fueron similares para ambas labranzas, la distribución de la DLR mostró una distribución algo más homogénea en LV que en LC, por lo que las posibilidades para una mejor exploración del espacio edáfico, podrían haber logrado un mejor acceso al agua que para el caso de labranza convencional en la que a partir de los 20 cm los valores de DLR disminuyeron bruscamente como lo muestra la figura 9 de este capítulo. Con respecto a este tema Klepper *et al.* (1973) y Allmaras *et al.* (1975) hacen referencia a que la menor cantidad, la distribución desuniforme de raíces con menor contacto suelo-raíz y la menor profundización, determinan disminución de la superficie absorbente, y el volumen de suelo no explorado con agua potencialmente disponible no utilizada por falta de sitios de absorción (Pandey *et al.* 1987, Boote *et al.* 1982, Van Noordwijk, 1983) La menor absorción de agua provoca disminución del potencial en hojas lo que afecta numerosos procesos fisiológicos como disminución del crecimiento celular, cierre parcial o total de estomas con reducción de fotosíntesis y por ende de crecimiento (Milthorpe y Moorby 1982; Norero, 1978 b)

Otra factor al que podría atribuirse esta diferencia seria la sequía generalizada que se presentó en los meses de desarrollo del cultivo lo que pudo haber ocasionado que el efecto de las labranzas no manifestara diferencias en cuanto a la resistencia mecánica ofrecida por el suelo, variable que evidenció en un primer momento valores elevados de hasta 4 Mpa para algunas capas del perfil. Avanzado el ciclo del cultivo y el crecimiento de raíces y su

exploración en profundidad, las mismas podrían haber encontrado un ambiente mas propicio para la exploración producto del fracturamiento de la capa densificada producido por la labor profunda en LV.

Si se considera la densidad aparente inicial de la capa comprendida entre los 22.5 y 30 cm en el momento de implantación del cultivo (Figura 13 de este capítulo), los valores de Dap en LV fueron inferiores a los de LC y si además se tiene en cuenta la figura 8 en la que se puede observar que la DLR disminuye a partir de dicha capa, se podría sostener que la compactación de esta capa del perfil podría haber influido en el menor número de raíces encontradas en esta profundidad y la menor producción de materia seca.

Otro aspecto que pudo haber influido es la variación en la tasa de crecimiento del cultivo, en la que en una primera instancia se caracteriza por una producción baja para posteriormente acelerar su crecimiento y alcanzar un pico máximo de producción. En el caso del verdeo, en labranza convencional la producción de 269.14 Kg/ha alcanzó un valor de 691.35 Kg/ha en aproximadamente dos meses, mientras que en labranza vertical los valores fueron 245.42 Kg/ha y un máximo de 1324 Kg/ha en similar tiempo. En relación a ello, Acuña (1982) menciona que la determinación de la distribución de la producción de forraje durante el ciclo del cultivo reviste tanta importancia como la producción total, sin embargo, su medición es relativamente complicada, debido a que generalmente requiere de muestreos muy frecuentes durante dos o más temporadas de crecimiento. Además Potter (1993) indica que una de las principales razones que justifican el ajuste de curvas de crecimiento, es la obtención de valores que describan adecuadamente los diversos aspectos del mismo, tales como las tasas y duración del crecimiento.

3.5-RELACION ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS

3.5.1- DLR - DAP

En general, en ambos sistemas de labranza puede apreciarse una relación inversa entre las variables, es decir, y como era de esperar, incrementos en la DAP ocasionan disminuciones en la DLR (tabla 6) . En este sentido, Tardieu (1988) plantea que la presencia de capas compactadas producen reducción del número de raíces, las que no se recuperan una vez atravesado el impedimento. Por otro lado, elevadas densidades aparentes resultan en una reducción del espacio poroso, en un acomodamiento, acercamiento e interacción de las partículas de suelo, lo que provoca una elevada resistencia a la penetración (Guerif, 1994), ocasionando disminución en la longitud, número y crecimiento de raíces (Arkin, 1981)

Tabla 6: Densidad Aparente y Densidad de Longitud de raíces en las capas del perfil cultural de ambos tratamientos de labranza en el momento de fructificación.

Espesor de la capa (cm)	Labranza vertical		Labranza convencional	
	DAP (Mg/m ³)	DLR	DAP (Mg/m ³)	DLR
0-12.5	1,19	0,98	1,19	1,19
12.5-22.5	1,43	0,75	1,39	0,52
22.5-30	1,35	0,31	1,30	0,38

3.5.2- DLR-RM

De acuerdo a los valores obtenidos para el análisis de correlación entre DLR y RM, no se encontró relación entre ambas variables. Los datos de RM se obtuvieron hasta una profundidad de aproximadamente 30 cm. ya que en el momento de la toma de los mismos Soave (2006)¹..A pesar de ello y como se puede observar en la tabla 7 con los datos obtenidos hasta los 30 cm la DLR disminuye con la profundidad y esto podría estar asociado a una elevada RM, ya que Soave (2006)¹ no pudo realizar las determinaciones debido a las condiciones de sequía en las que se encontraba el lote en ese momento, observándose valores elevados de RM que se tradujeron en un impedimento para el crecimiento radical. Según Tardieu (1988) existe una relación estadística entre la resistencia a la penetración evaluada con penetrómetros y la penetración de raíces en el suelo. A pesar de ello, que no se haya encontrado diferencias en el análisis puede deberse a una sobrestimación por parte del aparato a la hora de tomar los datos, como lo plantean Bengough y Mullins (1990) donde mencionan que los penetrómetros sobrestiman la resistencia que el suelo opone al crecimiento de las raíces entre dos y ocho veces, lo que explicaría los resultados obtenidos.

Tabla 7: Resistencia Mecánica y Densidad de Longitud de raíces en las capas del perfil cultural de ambos tratamientos de labranza en el momento de fructificación.

Espesor de la capa (cm)	Labranza vertical		Labranza convencional	
	DLR	RM (MPa)	<u>DLR</u>	RM (MPa)
0-12.5	0,98	0,56	1,19	1.14
12.5-22.5	0,75	Sin dato	0,52	Sin dato
22.5-30	0,31	Sin dato	0,38	Sin dato

3.5.3-DAP-RM

Tabla 8: Densidad Aparente promedio y Resistencia mecánica de cada capa del perfil cultural de ambos tratamientos en el momento de implantación.

Espesor de la Capa (cm)	La labranza vertical		Labranza convencional	
	DAP (Mg/m ³)	RM (MPa)	DAP (Mg/m ³)	RM (MPa)
0-12.5	1.18	0.45	1.08	1.11
12.5-22.5	1.49	1.92	1.41	4.2
22.5-30	1.45	3.26	1.43	3.9

DAP= Densidad Aparente; RM= Resistencia Mecánica

Como se puede observar en la tabla 8 los valores de DAP para el momento de implantación fueron similares para ambas labranzas, mientras que la RM en el caso de labranza convencional fue mayor a los de la labranza vertical, lo que puede estar relacionado a la existencia de un piso de labor como se mencionó anteriormente.

Al analizar la correspondencia entre valores de DAP y RM, en el momento de fructificación del cultivo se aprecia que ambas variables guardaron una relación directa en cuanto a que el incremento de una produce un similar comportamiento en la otra a pesar de que se pudo tomar datos solo para la primera capa ya que en profundidad no se pudieron realizar las mediciones por las condiciones de escasa humedad en que se encontraba el suelo. En la tabla 9 puede observarse que en la capa del perfil que va desde los 0-12.5 cm los valores de DAP y RM fueron bajos, en labranza convencional fueron superiores a los de labranza vertical, lo que puede atribuirse al paso de las maquinarias (pasada de rastra excéntrica y rastra de diente) para esta última, como lo menciona Paul y De vries, 1979, en donde hacen referencia al mecanismo de compactación que ocurre durante la preparación de la cama de siembra, el cual se relaciona con el pasaje del implemento en si mismo, como así también con el tiro del tractor. La habilidad de un suelo para soportar tal peso, sin daño estructural por debajo del límite aceptado para un óptimo crecimiento del cultivo, ha sido usado como definición de traficabilidad. Sin embargo, la RM en LC fue el doble de la observada en LV, lo cual podría estar asociado a la humedad como lo mencionan Koolen y Kuipers, 1983; que reconocen al contenido de humedad como uno de los principales factores de compactabilidad. Cuando los suelos se compactan, aumenta su resistencia y su densidad aparente, consecuentemente se reduce su porosidad total a expensas de los poros mas

grandes (Taylor, 1989) Ehlers *et al.* (1983) afirman que a mayor DAP, mas decisiva es la influencia de la humedad sobre la resistencia mecánica, lo que estaría asociado al aumento de las fuerzas cohesivas cuando disminuye la humedad y a la menor distancia interparticular.

Para el caso de labranza vertical, como ya se mencionó anteriormente, los valores de DAP en profundidad pueden estar asociados a que la labranza no fue realizada de la manera que correspondía fracturando parcialmente la capa densificada.

Tabla 9: Densidad Aparente promedio y Resistencia mecánica de cada capa del perfil cultural de ambos tratamientos en el momento de fructificación.

Espesor de la Capa (cm)	Labranza vertical		Labranza convencional	
	DAP (Mg/m3)	RM (MPa)	DAP (Mg/m3)	RM (MPa)
0-12.5	1,19	0,56	1,19	1.14
12.5-22.5	1,43	Sin dato	1,39	Sin dato
22.5-30	1,35	Sin dato	1,30	Sin dato

DAP= Densidad Aparente; RM= Resistencia Mecánica

3.5.4- Estrés radicular por densidad aparente

Con el objeto de estimar qué influencia tuvo la DAP sobre el crecimiento radicular, se presenta a continuación este método denominado estrés radicular por DAP. El mismo asume que el estrés por RM (cuando el suelo está a capacidad de campo) se iguala al estrés por DAP (es decir que solo existe el estrés por densidad). A medida que el suelo se seca el estrés será mayor al calculado ya que el estrés por resistencia va aumentando. Para ello, y de acuerdo a lo propuesto por Allan, *et al.*(1991); se estimarán los valores de DAP máxima a la cual no hay crecimiento de raíces y además se estimará la densidad óptima para el crecimiento de las mismas a través de ecuaciones de pedotransferencia teniendo en cuenta el porcentaje de arena de el suelo en estudio:

$$BDX=1,6 + 0,004* \text{PORCENTAJE DE ARENA} = 1,6 + 0,004* 48,3= 1.79$$

$$BDO= 1,1 + 0,005 * \text{PORCENTAJE DE ARENA} = 1,1 + 0,005 * 48,3 = 1.34$$

Donde:

BDX= Valor de DAP al cual no hay crecimiento radicular.

BDO= DAP óptima para el crecimiento radicular.

A los fines de evaluar el estrés radicular por Densidad Aparente se tomaron los valores de DAP de la capa que va desde los 22.5-30 cm para ver el efecto de esta restricción sobre el crecimiento radicular.

A continuación se expresan dichos cálculos:

$$\text{SBD} = \frac{\text{BDX} - \text{BD}}{\text{BDX} - \text{BDO}}$$

Donde:

SBD= Estrés radicular por Densidad Aparente

BD= DAP medida.

Como ya se mencionó los valores que arroja esta ecuación están comprendidos entre 0 y 1.

DAP INICIAL

Labranza convencional

$$\text{SBD} = \frac{\text{BDX} - \text{BD}}{\text{BDX} - \text{BDO}} = \frac{1.79 - 1.43}{1.79 - 1.34} = \frac{0.36}{0.45} = 0.8$$

Labranza vertical

$$\text{SBD} = \frac{\text{BDX} - \text{BD}}{\text{BDX} - \text{BDO}} = \frac{1.79 - 1.45}{1.79 - 1.34} = \frac{0.34}{0.45} = 0.75$$

Los resultados obtenidos indican que para el caso de labranza convencional el estrés en el crecimiento de raíces estaría influenciado por la densidad en un 20% , mientras que para el caso de labranza vertical se explicaría en un 25%, por lo que se demuestra que no habría un impedimento de este parámetro de consideración (los valores son relativamente cercanos a 1).

DAP FINAL

Labranza convencional

$$\text{SBD} = \frac{\text{BDX} - \text{BD}}{\text{BDX} - \text{BDO}} = \frac{1.79 - 1.30}{1.79 - 1.34} = \frac{0.49}{0.45} = 1$$

Labranza vertical

$$\text{SBD} = \frac{\text{BDX} - \text{BD}}{\text{BDX} - \text{BDO}} = \frac{1.79 - 1.35}{1.79 - 1.34} = \frac{0.44}{0.45} = 0.97$$

Para este momento los valores obtenidos demuestran que no hubo influencia prácticamente de la densidad sobre el crecimiento de las raíces siendo los resultados de la ecuación 1 y 0.97 para labranza convencional y vertical respectivamente.

Se podría sostener que este método brinda solo una aproximación ya que las raíces responden ,además de la condición física de cada horizonte o capa, a los cambios de densidad y/o resistencia que hay entre ellos, que en este caso no se tuvieron en cuenta.

CAPITULO 4

4- CONCLUSIONES

La labranza vertical incrementa, aunque no significativamente, la producción de materia seca de un verdeo anual invernal de Avena, a comparación de labranza convencional.

La labranza no modifica la densidad de longitud de raíces, aunque se visualiza una tendencia a un cambio en la distribución de raíces en el perfil, siendo este mas homogéneo con respecto a labranza convencional.

La producción de materia seca del cultivo de avena no puede ser explicada a través de las variables estudiadas de Densidad Aparente y Densidad de Longitud de Raíces, ya que las variables no manifestaron diferencias significativas entre labranzas.

Bajo las condiciones operativas en que se realizaron las operaciones de labranza, no se modifica el perfil de Densidad Aparente del suelo ya que no se obtuvieron diferencias significativas de este parámetro entre labranzas.

CAPITULO 5

5- POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA

Del trabajo realizado se desprenden numerosas líneas de investigación tendientes a obtener conclusiones generales en relación al efecto de las labranzas sobre la producción de materia seca de un verdeo invernal y sus posibles causas. Entre ellas se propone:

Continuar indagando sobre otras variables edáficas sobre las que inciden los sistemas de labranza, como podrían ser la distribución del agua dentro del suelo y el contenido hídrico global y su relación con el perfil de distribución de raíces del cultivo.

Evaluar distintas metodologías de medición de la Densidad de Longitud de Raíces, considerando que la metodología del perfil expuesto es destructiva y ofrece escasas posibilidades de repetición tanto para la evaluación global de raíces en algún momento del ciclo del cultivo, como en diferentes etapas fenológicas del mismo.

Medir la evolución de la producción de materia seca a lo largo del ciclo del cultivo, de modo de poder establecer relaciones entre el proceso de acumulación de la misma y el efecto de descompactación producido por labranza vertical o profunda.

CAPITULO 6

6-BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA, H.P; P. SOTO y P. MELIN. 1984. Método para estimar el crecimiento de las praderas de secano por medio de cortes en ausencia de pastoreo. Agricultura técnica (Chile) 44(4): 325 333.

ACUÑA, H. 1982. Curvas de crecimiento y acumulación de materia seca. *In*: Soto O., P. (Ed.) Seminario de metodología de evaluación de praderas. Programa de Praderas. Area de Producción Animal. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago, Chile. 25-26 de mayo. p. 68-84.

ALLAN JONES, C., BLAND, W.L., RITCHIE, J.T. y J.R. WILLIAMS, 1991. Simulation of Root Growth En: Modeling plant and Soil Systems Agronomy Monograph no. 31.

ALLMARAS R.R., NELSON W.W., VOORHEES W.B. 1975. Soybean and corn rooting in SO Minnesota: I Water uptake sink. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39: 764-771.

ARKIN G.F. y TAYLOR H.M. 1981. Modifying the root environment to reduce crop stress ASAE Monograph N° 4.407 págs

BALBUENA R.G.; BOTTA, L. DRAGHI, H. ROSATTO Y C. DAGOSTINO 2003 Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistema de siembra directa. Spanosh Journal of Agricultural Research. Vol.1, N° 2/ 75-80.

BATHKE G.R.; CASSEL D.K.; HARGROVE W.L.; PORTER P.M.; 1992 Modification of soil physic properties and root growth responses J. Soil Sc. 41:341-358.

BAVER L.D.; GARDNER W.H.; GARDNER W.R. 1973 Física de suelos . Uteha, Mexico. 529 págs.

BECKER, A; CANTÚ, M. and H. F. SCHIAVO. 1997. Micromorphological

Characteristics of Mollisol Cambic Horizons of Arg. Central region. *In: Micromorphology: Studies on soil Diversity, Diagnostics, Dynamic*. Ed Soba, Gerasimova and Miedeme. Moscu – Wageningen. Pp 52-58.

BECKER, A .2001.Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa de la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina. *Informe Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto.30 Págs.*

BENGOUGH A.G., MULLINS C.E. 1990. Mechanical impedance to root growth: A review of experimental techniques and root growth responses *J. Soil Sc.* 41: 341-358.

BLAKE G.R. Y K.H. HARTGE. 1986, págs. 363-375. En A Klute (de) *Methods of soil analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no. 9* (2nd Edition. ASA and SSSA, Madison, WI.

BOHM W. 1979 *Methods of studying root systems*. Springer-Verlag. N.Y. 187 págs.

BONADEO, E. 1997. Efectos de la compactación subsuperficial de un Hapludol típico del sur de Córdoba sobre el comportamiento del cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.) Tesis Magister Scientiae en Ciencias del Suelo. UBA-INTA , Argentina, 124 págs.

BOOTE K.J., STANSELL J.R., SCHUBERT M.A., STONE J.F. 1982. Irrigation, water use and water relations. *En: Patte H.E. , Young C.T. (Eds.) Peanuts Science and technology*. APRES, Yoakum, TX: 164-205.

BONADEO E., CANTERO GUTIERREZ A., 1987. Distribución de raíces de maíz desarrollado en un Hapludol típico bajo tres tipos de laboreo. *II Jornadas Científico Técnicas Fac. Agron. y Vet. UNRC (Río Cuarto): 39.*

BOWEN H.D. 1981 Alleviating mechanical impedance In: Arkin GF, Taylor HM. (Eds.) *Modifying the root environment to reduce crop stress*. ASAE Monograph N° 4: 21-57.

BRICCHI, E., A. DEGIOANNI y N. CUELLO 1993. Caracterización del perfil cultural en los suelos de la región central de Córdoba. Actas del XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza, p. 457.

BRICCHI E., CANTERO, A., y E. BONADEO. 1991. Caracterización física de los principales subgrupos de suelos y su relación con cultivos y sistemas de labranza en el Sur Oeste de Córdoba. Actas del XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo-Bariloche.

BUSSCHER, W.J., R.E. SOJKA y C.W. DOTY. 1986. Residual effects of tillage on Coastal Plain soil strength. Soil Sci. 141: 144-148.

CANTERO GUTIERREZ, A., CANTU M.P. 1980 Algunas consideraciones sobre los suelos y la degradación –recuperación de las tierras en el área de Río Cuarto (Córdoba). Comité Argentino para el Programa el Hombre y la Biosfera (MAB) UNESCO. Seminario Internacional sobre el deterioro de la Cuenca del Plata. Bs. As. 24 págs.

CANTERO G., A; BRICCHI, E.; BECERRA, V.; CISNEROS, J.; GIL, H. 1986. Zonificación y Descripción de las Tierras del Departamento de Río Cuarto (Córdoba).Pub. Fac. Agr. y Vet. UNRC adhesión al bicentenario de la fundación de Río Cuarto 80 págs.

CANTU, M. P y S. DEGIOVANNI. 1984. Geomorfología de la región centro sur de la Provincia de Córdoba. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche. Actas IV: 76-92.

CANTU , M. 1998. Estudio Geocientífico para la Evaluación Ambiental y Ordenación Territorial de una Cuenca Pedemontana. Caso: Cuenca del Arroyo La Colacha, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad Nacional DE Río Cuarto. 380 págs.

CARTER, M.R. 1988. Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening in tillage studies. Can. J. Of Soil Sc. Vol. 68 (4): 657-668.

CARTER, M.R., 1992. Influences of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate. Soil and Tillage Res. 23: 361-372.

CASSEL, D.K. y L.A. NELSON. 1979. Variability of mechanical impedance in a tilled one-hectare field of Norfolk sandy loam. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:450-455.

CERANA, L.A. Y NICOLLIER V.S. 1969. Las capas densas o duras y el crecimiento de los órganos de las plantas. INTA Pergamino-Argentina. 25 págs.

CISNEROS, J.M., CANTERO, G.A., MARCOS, J., DEGIOANNI, A., BRICCHI, E., GIAYETTO, O., CHOLAKY, C., BONADEO, E., CERIONI, G. Y M. UBERTO 1998. Comportamiento de un subsolador alado adaptable a implementos de uso común. Págs. 128-134. En: Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito de Latinoamérica. Balbuena R., Benez, S.H. y D. Jorajuría (Eds.) Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. 612 págs.

CHICHIDIDIMO H., ASBORNO M.Y A. ARAGON.1992. Maíz: evaluación del sistema de raíces en diferentes genotipos. En V Congreso Nacional de Maíz. 11-13 noviembre . AIANBA-INTA-CIMMIYT. Tomo 1. 225-234. Pergamino . Argentina.

CHOLAKY, C. 2003. Efectividad y persistencia de una labor de descompactación con subsolador alado, en función de la compactación y humedad antecedente. Tesis Magister Scientiae en Manejo y Recuperación de Tierras, FAV, UNRC, Argentina: 196 págs.

DASHKO R.E., KAGAN A.A. 1980 Mecánica de los suelos en la práctica de la geología aplicada a la ingeniería. Editorial MIR. Moscú.258 págs.

DA SILVA, A. P., B.D. Kay y E. Perfect 1994. Characterization of the Least Limiting Water Range of Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1775-1781.

DEGIOANNI A. J. 1998. Organización territorial de la Producción agraria en la Región de Río Cuarto (Argentina). Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Dpto. de Geografía. Alcalá de Henares. España.

DEXTER AR. 1987. Mechanics of roots growth. Plant and Soil 98: 303-312.

DÍAZ R.,TORELLA J., SANTANATOGLIA O. 1993 Turrialba Revista Interamericana De Ciencias Agrícolas. Volumen 43, No. 1, págs. 84.

EHLERS, W, KOPKHE, U., HESSE, F. y BOHM W., 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Till. Res.* 3:261-275.

GAUTRONNEAU, Y. y MANICHON, H. 1987. Guide methodologique du profil cultural. Cerefgeara, 71 págs.

GERSTER, G. y S. BACIGALUPO 2003. Crecimiento de raíces de trigo en zonas compactadas por el tránsito en húmedo. Trigo para mejorar la producción/ 22 Estación Experimental Agropecuaria Oliveros: 19-22.

GIAYETTO, O., BONADEO, E., CRESPI, R., FERNÁNDEZ, E. y W. ASNAL 1992. Convenio de Cooperación y Complementación entre la Cámara Argentina del maní y la Univ. Nacional de Río Cuarto (FAV). Proyecto "Manejo de agua en el sistema suelo-cultivo de maní en seco y bajo riego". Informe Técnico 1990/91. Panorama manisero, año VI, n° 19: 14-20.

GILL, K.S. GAJRI, P.R., CHAUDHARY, M.R. y B. SINGH 1996. Tillage, mulch and irrigation effects on corn (*Zea mays* L.) in relation to evaporative demand. *Soil and Tillage Research*, vol.39 (3-4): 213-227.

GUERIF, J. 1994 Effects of compaction on soil strength parameters In: Soane BD. (Ed) *Soil compaction in crop production* Elsevier: 191-214.

HENIN, S. 1960. El Perfil Cultural. Principios de física de Suelos. Sociedad de Ediciones de Ing. Agrícola Paris. 335 págs.

HUMBOLDT SCIENTIFIC INC. 1998.

INFOSTAT SOFTWARE ESTADÍSTICO, 2001. Manual del Usuario Versión I. Hecho en universidad Nacional de Córdoba; Facultad de Ciencias Agropecuarias. Editorial Triunfar S.A. La Rioja..231 págs.

INTA-MAG y RR, 1994. Hoja 3366-12;3366-18 Río de los Sauces; Alpa Corral. Plan Mapa de Suelos, Córdoba. 97 págs.

KOOLEN A.J. 1994. Mechanics of soil compaction. Chap 2. En: B.D. Soane and C. Van Ouwerkerk (Eds.). Soil Compaction in Crop Production Elsevier Science B.V. pag. 23-69.

KOOLEN A.J. y H. KUIPERS. 1983. Agricultural soil mechanics. Springer, Berlín, 241 págs.

KLEPPER B.; TAYLOR H.M., HUCK M.G., FISCUS E.L. 1973. Water relations and growth of cotton in drying soil Agron. J. 65: 307-310.

KRAUS, T.A; E. HAMPP; GROSSO; S. BASCONSUELO; R. MALPASSI y C. BIANCO. 1996. Morfología de sistemas radicales de *Arachis hypogaea* L. en función de las condiciones físicas del suelo. Rev. UNRC 16 (1); 41-55

LERINK P. 1994. Prediction of the immediate effect of traffic on field soil qualities. Thesis Wageningen 219 págs.

MENGEL, D.B. y BARBER, S.A. 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. Agronomy Journal, 66:341-344.

MILTHORPE F.L., MOORBY J. 1982. An introduction to crop physiology Cambridge Univ. Press England 202 pags.

MORA O., HERNÁNDEZ J. y C. PÉREZ 2001. Efecto de la labranza vertical y el encalado sobre el rendimiento del cultivo de maíz (*zea mays* l), en un alfisol compactado del estado yaracuy. Venezuela. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del suelo, Varadero, Cuba. Actas trabajos completos en formato digital.4 págs.

NORERO A. 1983 a. Ingeniería de cultivos CIDIAT Venezuela.Formato digital.

NORERO A., 1978 b. Formula para estudiar la influencia de la humedad del suelo en la productividad de los cultivos. Serie Suelos y Clima Trabajo de investigación SC-15 (Venezuela) 49 págs

OUSSIBLE M., CROOSKTON R.K., LARSON W.E. 1992. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield components of wheat. *Agrom. J.* 79:882-886.

PANDEY R.K., MORRIS R.A., WHISLER, F.D. 1987. Water extractions patterns, water use and yield of ten uplands crops following rainfed lowland rice in the tropics *Philippine J. Of Crop Sc.* 12 (3): 163-168.

PAUL C.L. y J. DE VRIES. 1979. Effect of soil water status and strength on trafficability. *Can. J. Soil Sci.* 59: 313-324.

POTTER, J.F. 1993. Fitting growth curves. *In: Alison Davis; Baker, R.D.; Grant, Sheila A. and Laidlaw, A.S. (Eds.). Sward Measurement Handbook (2nd ed.). The British Grassland Society. University of Reading. Reading, England. p. 217-223.*

RESSIA J., MENDIVIL O., BALBUENA R., CHICHIDIMO H. 1998. Desarrollo radicular y rendimiento de maiz en funcion de la labranza. En: *Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito de Latinoamérica. Balbuena R., Benez, S.H. y D. Jorajuría (Eds.) Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. 612 pags.*

SAGyP - CFA. 1995. El deterioro de las tierras en la República Argentina -Alerta Amarillo. DUO/Comunicación Visual- Capital Federal- Bs. As. 287 págs.

SCOTT RUSSELL, R. 1977 *Plant root systems: Their function and interaction with the soil.* Mc-Graw-Hill U.K. 298 pags.

SCHJØNNING Per 1990. Some aspects of soil strength. *NJF-utredning/rapport* ,56: 40-45.

SMITH, C.W. 1990 The effect of compaction on soil physical properties and root development *Annual Report- Institute for Commercial Forestry Research: 292-295.*

SOJKA R.E., BUSSCHER W.J., GOODEN D.T. y W.H. MORRISON. 1990. Subsoiling for sunflower production in the Southeast Coastal Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1107-1112.

SPOOR, G. y R.J. GODWIN.1978 An experimental investigation into deep loosening of soil by rigid tines. J. agric. Engng. Res. 23, 243-258.

TARDIEU F. 1988 Consequences de la disposition spatiale des racines au champ sur les transferts d'eau sol- plante In: Calvet R. (Ed.) Etudes sur les transferts d'eau dans le systeme sol-plante-atmosphere. INRA: 181-211.

TARDIEU F. y MANICHON H. 1985.Consequences de l'etat du profil cultural sur l'enracinement: Cas du maïs In: Soil compaction and regeneration Procc. Of the workshop on soil compaction (Avignon): 131-143.

TAYLOR H.M. 1989. Effect of soil compaction on root development. Soil compaction. As a factor determining plant productivity. Abstracts pág. 155.

VAN NOORDWIJK M. 1983. Functional interpretation of root densities in the field for nutrient and water uptake. Root Ecology and its practical Application Int. Symp Bundesanstalt Gumpenstein, A-8952 Irnding: 207-226.

VASQUEZ, P.M.; COSTA J.L.; CABRIA, F.N.; GODZ, P; 1998. XVI Congreso Argentino de ciencias del suelo. Editorial UNRC.

VEPRASKAS, M.J., BUSSCHER W.J. y J.H. EDWARDS 1995.Residual effects of deep tillage vs. no-till corn root growth and grain yield. Journal of Production Agriculture, Vol. 8. no. 3: 401-405.

VEPRASKAS, M.J. 1988. Bulk Density Values Diagnostic of Restricted Root Growth in Coarse-textured Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1117-1121.

WHITELEY, G.M.; UTOMO, W.H.; DEXTER, A.R. 1981. A Comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots Plant and Soil 61:351-364.

WILDE, A.1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi-Prensa. 1045 págs.

ANEXO 1

Tabla 1: Descripción del perfil típico serie La Aguada.

Perfil	A1	AC	C
Profundidad de la muestra	0-17	17-40	40 a +
Materia organica (%)	1.0		
Carbono organico (%)	0.6		
Nitrogeno total (%)	0.08		
Relacion C/N	7.5		
Arcilla (< 2 μ) (%)	11.5	9.9	6.8
Limo (2-20 μ) (%)			
Limo (2-50 μ) (%)	40.8	40.0	40.4
Arena muy fina (50-100μ) (%)	45.0	45.0	48.5
Arena fina (100-250 μ) (%)	2.6	2.8	2.4
Arena media (250-500 μ) (%)	0.3	0.4	
Arena gruesa (500-1000 μ) (%)	0.4	0.5	0.4
Arena muy gruesa (1000-2000 μ) (%)			
Gravas (> 2000 μ) (%)			
CaCO ₃ (%)	0.0	0.0	0.0
Equivalente de humedad (%)	12.0	12.6	10.4
Agua de la pasta (%)			
pH en pasta	6.2	6.4	6.5
pH en H ₂ O (1:2,5)	6.3	6.5	6.6
Ph en KCl IN (1:2,5)			
Cationes de cambio (meq/100g)			
Ca ⁺⁺	11.1	7.9	7.1
Mg ⁺⁺	0.6	1.9	0.7
Na ⁺⁺	0.4	0.4	0.4
K ⁺	1.1	1.0	0.7
H ⁺ cambio (meq/ 100g)	0.6	0.4	0.4
Na ⁺ (% del valor T)	2.9	3.4	4.3
Conductibilidad electrica (mmhos/cm)			
Resistencia electrica (ohms)			
Valor S. Suma de bases (meq/100g)	13.2	11.2	8.9
Valor T. CIC (meq/100g)	13.8	11.6	9.3
Saturacion con bases S/T (%)	95.7	96.6	95.7

ANEXO 2

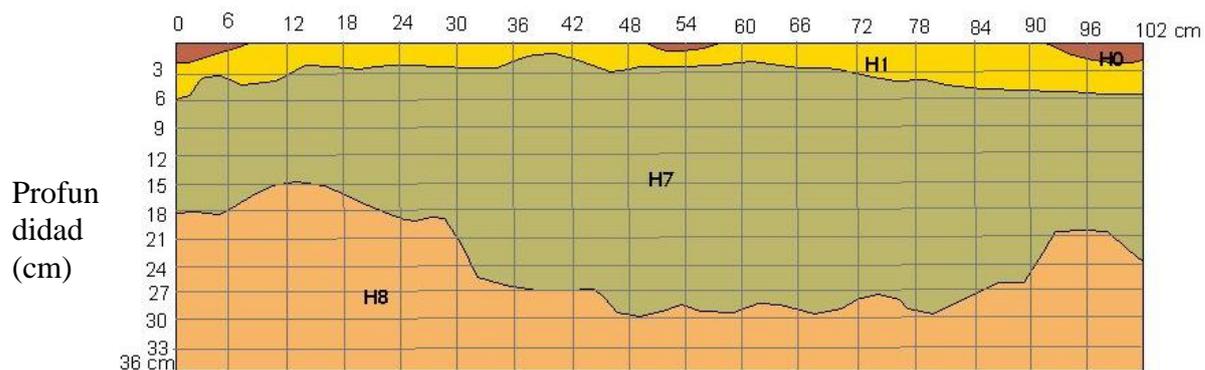


Figura 5: Perfil cultural para la situación con labranza vertical.

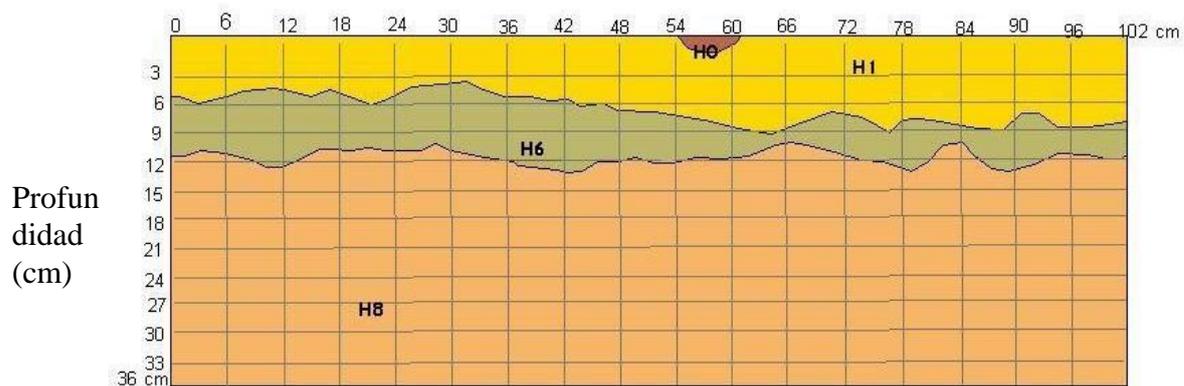


Figura 6: Perfil cultural para la situación con labranza convencional

ANEXO 3

TABLAS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

DLR

CAPA 1

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
DLR	12	0,56	0,40	30,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>	<u>(Error)</u>
Modelo	1,12	3	0,37	3,42	0,0730	
bloque	0,18	1	0,18	0,23	0,7167	(bloque*Labranza)
Labranza	0,13	1	0,13	0,16	0,7585	(bloque*Labranza)
bloque*Labranza		0,81	1	0,81	7,40	0,0263
Error	0,88	8	0,11			
Total	2,00	11				

No hay diferencia significativa entre labranzas para la profundidad 1.

CAPA 2

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
DLR	12	0,29	0,03	75,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>	<u>(Error)</u>
Modelo	0,77	3	0,26	1,11	0,4004	
bloque	0,06	1	0,06	0,11	0,7938	(bloque*Labranza)
Labranza	0,15	1	0,15	0,27	0,6950	(bloque*Labranza)
bloque*Labranza		0,56	1	0,56	2,41	0,1594
Error	1,86	8	0,23			
Total	2,63	11				

No hay diferencia significativa entre labranzas para la profundidad 2.

CAPA 3

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DLR	12	0,51	0,32	29,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor (Error)
Modelo	0,08	3	0,03	2,73	0,1137
bloque	4,2E-03	1	4,2E-03	0,07	0,8392 (bloque*Labranza)
Labranza	0,01	1	0,01	0,24	0,7107 (bloque*Labranza)
bloque*Labranza		0,06	1	0,06	6,28 0,0366
Error	0,08	8	0,01		
Total	0,16	11			

No hay diferencia significativa entre labranzas para la profundidad 3.

CAPA 4

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DLR	12	0,49	0,30	26,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	3	0,02	2,54	0,1298
bloque	2,1E-03	1	2,1E-03	0,05	0,8644 (bloque*Labranza)
Labranza	3,4E-03	1	3,4E-03	0,07	0,8304 (bloque*Labranza)
bloque*Labranza		0,05	1	0,05	6,80 0,0313
Error	0,05	8	0,01		
Total	0,10	11			

No hay diferencia significativa entre labranzas para la profundidad 4.

CAPA 5

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DLR	12	0,50	0,31	23,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor (Error)
Modelo	0,03	3	0,01	2,63	0,1223
bloque	1,4E-03	1	1,4E-03	0,06	0,8440 (bloque*Labranza)
Labranza	1,9E-03	1	1,9E-03	0,09	0,8186 (bloque*Labranza)
bloque*Labranza		0,02	1	0,02	6,86 0,0307
Error	0,03	8	3,2E-03		
Total	0,05	11			

No hay diferencia significativa entre labranzas para la profundidad 5.

CAPA 6

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DLR	12	0,23	0,00	29,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	1,8E-03	3	6,0E-04	0,80	0,5283	
bloque	1,9E-05	1	1,9E-05	0,02	0,9129	(bloque*Labranza)
Labranza	7,8E-04	1	7,8E-04	0,79	0,5370	(bloque*Labranza)
bloque*Labranza		9,9E-04	1	9,9E-04	1,32	0,2832
Error	0,01	8	7,5E-04			
Total	0,01	11				

No hay diferencia significativa entre labranzas para la profundidad 6.

DAP INICIAL

CAPA 1

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DAP	12	0,45	0,25	7,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	0,05	3	0,02	2,21	0,1651	
Labranza	0,03	1	0,03	12,72	0,1740	(Labranza*bloque)
bloque	0,02	1	0,02	8,82	0,2068	(Labranza*bloque)
Labranza*bloque		2,2E-03	1	2,2E-03	0,29	0,6027
Error	0,06	8	0,01			
Total			0,11	11		

no hay diferencia significativa.

CAPA 2

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DAPI	12	0,37	0,14	5,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	0,03	3	0,01	1,60	0,2646	
bloque	0,01	1	0,01	24,04	0,1281	(bloque*Labranza)
Labranza	0,02	1	0,02	31,97	0,1114	(bloque*Labranza)
bloque*Labranza		5,7E-04	1	5,7E-04	0,08	0,7792
Error	0,05	8	0,01			
Total	0,09	11				

p es mayor a 0.05 por lo que no hay diferencias entre tratamientos.

CAPA 3

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DAPI	12	0,19	0,00	10,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	0,05	3	0,02	0,64	0,6124	
bloque	0,03	1	0,03	2,80	0,3431	(bloque*Labranza)
Labranza	1,0E-03	1	1,0E-03	0,09	0,8152	(bloque*Labranza)
bloque*Labranza		0,01	1	0,01	0,49	0,5032
Error	0,19	8	0,02			
Total	0,24	11				

p es mayor a 0.05 por lo que no hay diferencias significativas.

DAP FINAL

CAPA 1

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DAP	12	0,03	0,00	15,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	0,01	3	2,4E-03	0,07	0,9745	
Labranza	1,2E-04	1	1,2E-04	0,12	0,7864	(Labranza*bloque)
bloque	0,01	1	0,01	6,09	0,2451	(Labranza*bloque)
Labranza*bloque		9,9E-04	1	9,9E-04	0,03	0,8690
Error	0,27	8	0,03			
Total	0,28	11				

no hay diferencias significativas.

CAPA 2

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DAP	12	0,17	0,00	5,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	0,01	3	3,7E-03	0,54	0,6691	
Labranza	0,01	1	0,01	1,26	0,4631	(Labranza*bloque)
bloque	2,2E-03	1	2,2E-03	0,54	0,5964	(Labranza*bloque)
Labranza*bloque		4,0E-03	1	4,0E-03	0,58	0,4695
Error	0,06	8	0,01			
Total	0,07	11				

no hay diferencias significativas.

CAPA 3

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
DAP	12	0,38	0,14	6,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>	<u>(Error)</u>
Modelo	0,04	3	0,01	1,61	0,2621	
Labranza	0,01	1	0,01	1,39	0,4477	(Labranza*bloque)
bloque	0,02	1	0,02	4,70	0,2752	(Labranza*bloque)
Labranza*bloque		0,01	1	0,01	0,68	0,4330
Error	0,06	8	0,01			
Total	0,10	11				

no hay diferencias significativas.

Correlación entre DLR y RM.

Tabla momento 2

Capa (0-12.5.)

	<u>DLR</u>	<u>RM</u>
DLR	1,00	0,86
RM	0,06	1,00

Correlación entre DLR y DAP

Tabla momento 2

Capa 1 (0-12.5 cm.)

	<u>DAP</u>	<u>DLR</u>
DAP	1,00	0,69
DLR	-0,13	1,00

Capa 2 (12.5-22.5 cm)

	<u>DAP</u>	<u>DLR</u>
DAP	1,00	0,54
DLR	0,19	1,00

Capa 3 (22.5-32.5 cm.)

	<u>DAP</u>	<u>DLR</u>
DAP	1,00	0,97
DLR	0,01	1,00

Correlación entre DAP y RM.

Tabla momento 1

Capa (0-12.5 cm.)

	<u>DAP</u>	<u>RM</u>
DAP	1,00	0,86
RM	0,06	1,00

Capa (12.5-22.5 cm)

	<u>DAP</u>	<u>RM</u>
DAP	1,00	0,58
RM	0,18	1,00

Capa (24-36 cm)

	<u>DAP</u>	<u>RM</u>
DAP	1,00	0,67
RM	0,14	1,00

Momento 2

Capa 0-12.5

	<u>DAP</u>	<u>RM</u>
DAP	1,00	0,98
RM	-0,01	1,00

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE MATERIA SECA

MS 13/08/04

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
MS	12	1,00	1,00	0,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>	<u>(Error)</u>
Modelo	21881,56	3	7293,85	sd	sd	
bloque	19,89	1	19,89	9,9E-04	0,9800	(bloque*labranzas)
labranzas	1687,20	1	1687,20	0,08	0,8208	(bloque*labranzas)
bloque*labranzas	20174,46	1	20174,46	sd	sd	
Error	0,00	8	0,00			
Total	21881,56	11				

MS 15/10/04

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
MS	12	1,00	1,00	0,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>	<u>(Error)</u>
Modelo	1405915,49	3	468638,50	sd	sd	
bloque	42281,53	1	42281,53	0,26	0,6981	(bloque*labranzas)
labranzas	1203159,17	1	1203159,17	7,50	0,2229	(bloque*labranzas)
bloque*labranzas	160474,78	1	160474,78	sd	sd	
Error	0,00	8	0,00			
Total	1405915,49	11				

