



CREER...CREAR...CRECER

*Universidad Nacional de Río Cuarto*  
*Facultad de Agronomía y Veterinaria*

Trabajo final  
para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

**Título:**

**DESCOMPACTACION SUPERFICIAL DEL SUELO Y  
COMPORTAMIENTO DE MAIZ EN SIEMBRA DIRECTA  
EN HAPLUSTOLES ENTICOS DE SAN LUIS**

**Por: Vargas, Diego Cesar**

**DNI:29.861.412**

**Director: Cisneros, José Manuel**

**Codirector: Esposito, Gabriel**

**Río Cuarto – Córdoba**

**Noviembre 2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

- *En primer lugar, a mis padres, que me brindaron toda la contención y el apoyo económico, para poder llegar a este sueño.*
- *A mi hermana, que con sus consejos, contribuyo de alguna manera a que se me cumpla esta ilusión.*
- *A mi novia, que nunca permitió que bajara los brazos, en aquellas circunstancias propias de la carrera.*
- *A mi abuelo Tomas, que ya no esta, que me ayudo desde lo mas lejos a atravesar todas las barreras que pudiese haber tenido la carrera.*
- *A MIGRA S.A, especialmente a Oscar Fortuni, que gestiono los insumos, para llevar a cabo este trabajo de investigación.*
- *A José Manuel Cisneros y Gabriel Esposito, por la gran disposición y fuerza brindada, para que este trabajo se halla podido realizar de la mejor manera.*
- *Y a todos los conocidos y amigos, que de alguna manera contribuyeron para que yo pudiera conseguir el titulo de Ingeniero Agrónomo.*

## **INDICE DE CONTENIDOS**

<b>INDICE DE TABLAS</b>	4
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	5
<b>INDICE DE FOTOS</b>	7
<b>RESUMEN</b>	8
<b>SUMMARY</b>	9
<b>CAPITULO I. INTRODUCCION</b>	10
1.1 ANTECEDENTES SOBRE COMPACTACION	11
1.2 ANTECEDENTES SOBRE LABRANZAS	16
1.3 ANTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO	21
1.4 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE MAIZ	22
<b>CAPITULO II. HIPOTESIS</b>	23
<b>CAPITULO II. OBJETIVOS</b>	23
3.1 GENERALES	23
3.2 ESPECIFICOS	23
<b>CAPITULO IV. MATERIALES Y METODOS</b>	24
4.1 AREA DE ESTUDIO	24
4.2 ENSAYO EXPERIMENTAL	27
4.3 DETERMINACIONES	29
4.3.1 ANALISIS QUIMICO INICIAL	29
3.2.2 DENSIDAD APARENTE	29
4.3.3 RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	29
4.3.4 DETERMINACIONES EN EL CULTIVO	30
<b>CAPITULO V. RESULTADOS</b>	30
5.1 CLIMA DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO	30

5.2 CARACTERIZACION INICIAL DEL SUELO_____	32
5.3 DENSIDAD APARENTE_____	33
5.4 RESISTENCIA A LA PENETRACION_____	39
5.5 HUMEDAD_____	48
5.6 PRODUCCION Y COMPORTAMIENTO AGRONOMICO DEL CULTIVO_____	51
5.7 EFECTOS E INTERACCIONES CON LA VARIABILIDAD AMBIENTAL_____	62
<b>CAPITULO VI. CONCLUSIONES_____</b>	<b>64</b>
<b>CAPITULO VII. BIBLIOGRAFIA_____</b>	<b>65</b>

### **INDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Datos analíticos perfil típico de la serie El Portezuelo en proximidades al lugar del ensayo._____	26
<b>Tabla 2.</b> Resultados de análisis de suelo, en el lugar del ensayo._____	32
<b>Tabla 3.</b> Densidad aparente (Tn /m3) de aquellos tratamientos con y sin cincel, a diferentes profundidades en línea y entre línea, analizados estadísticamente para cada tratamiento a igual profundidad._____	33
<b>Tabla 4.</b> Densidad aparente (Tn /m3) de aquellos tratamientos con y sin cincel, a diferentes profundidades en línea y entre línea, analizados estadísticamente para un tratamiento con respecto a línea o entre línea._____	35
<b>Tabla 5.</b> Densidad aparente (Tn /m3) de aquellos tratamientos fertilizados y sin fertilizar, a diferentes profundidades en línea y entre línea, analizados estadísticamente para cada tratamiento a igual profundidad._____	37

**Tabla 6.** Densidad aparente (Tn /m<sup>3</sup>) de aquellos tratamientos fertilizados y sin fertilizar, a diferentes profundidades en línea y entre línea, analizados estadísticamente para un tratamiento con respecto a línea o entre línea. \_\_\_\_\_ 38

**Tabla 7.** Resistencia a la penetración (Mpa), a diferentes profundidades en la línea y entre línea, analizados estadísticamente para un tratamiento con respecto a línea o entre línea. \_\_\_\_\_ 40

**Tabla 8.** Resistencia a la penetración (Mpa) en la línea, a diferentes profundidades, analizados estadísticamente para cada tratamiento a igual profundidad. \_\_\_\_\_ 41

**Tabla 9.** Humedad (%) de los cuatro tratamientos, a diferentes profundidades en la línea y entre línea. \_\_\_\_\_ 49

**Tabla 10.** Rendimiento, Densidad, Altura de plantas, Distancia entre plantas, Peso de espiga, Peso de mil granos y Relación Grano: marlo. \_\_\_\_\_ 52

### **INDICE DE FIGURAS**

**Figura 1.** Ubicación del área de estudio y detalle del lote donde se llevan a cabo los experimentos. \_\_\_\_\_ 24

**Figura 2.** Vista del tren de siembra de sembradora fertilizadora MIGRA S-22. \_\_\_\_\_ 28

**Figura 3.** Distribución de las precipitaciones (ciclo 2007-2008), durante los meses de ensayo. \_\_\_\_\_ 31

**Figura 4.** Densidad aparente (Tn /m<sup>3</sup>) a diferentes profundidades, para los tratamientos con cincel y sin cincel, solo en la línea. \_\_\_\_\_ 34

**Figura 5.** Densidad aparente (Tn /m<sup>3</sup>) a diferentes profundidades, para los tratamientos con cincel y sin cincel, solo en la entre línea. \_\_\_\_\_ 35

**Figura 6.** Densidad aparente (Tn /m<sup>3</sup>) a diferentes profundidades, para los tratamientos con cincel y sin cincel, tanto en la línea como en la entre línea. \_\_\_\_\_ 36

**Figura 7.** Densidad aparente (Tn /m<sup>3</sup>) a diferentes profundidades, para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar, solo en la línea.\_\_\_\_\_ 37

**Figura 8.** Densidad aparente (Tn /m<sup>3</sup>) a diferentes profundidades, para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar, solo en la entre línea.\_\_\_\_\_ 38

**Figura 9.** Resistencia a la penetración (Mpa) a diferentes profundidades, para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar, solo en la línea.\_\_\_\_\_ 42

**Figura 10.** Resistencia a la penetración (Mpa) a diferentes profundidades, para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar, solo en la entre línea.\_\_\_\_\_ 43

**Figura 11.** Resistencia a la penetración (Mpa) hasta los 70 cm. de profundidad, para el tratamiento con cincel escarificador y sin fertilizante, tanto en la línea como en la entre línea.\_\_\_\_\_ 44

**Figura 12.** Resistencia a la penetración (Mpa) hasta los 70 cm. de profundidad, para el tratamiento sin cincel escarificador y fertilizado, tanto en la línea como en la entre línea.\_\_\_\_\_ 45

**Figura 13.** Resistencia a la penetración (Mpa) hasta los 70 cm. de profundidad, para el tratamiento con cincel escarificador y fertilizado, tanto en la línea como en la entre línea.\_\_\_\_\_ 46

**Figura 14.** Resistencia a la penetración (Mpa) hasta los 70 cm. de profundidad, para el tratamiento sin cincel escarificador y fertilizado, tanto en la línea como en la entre línea.\_\_\_\_\_ 47

**Figura 15.** Humedad (%) a diferentes profundidades, para los cuatro tratamientos, solo en la línea.\_\_\_\_\_ 50

**Figura 16.** Humedad (%) a diferentes profundidades, para los cuatro tratamientos, solo en la entre línea.\_\_\_\_\_ 51

**Figura 17.** Efecto en el rendimiento del cincel y el fertilizante, sobre el testigo.\_\_\_\_\_ 53

<b>Figura 18.</b> Rendimiento (Kg. /ha), para los cuatro tratamiento.	55
<b>Figura 19.</b> Densidad de plantas (plantas/ha.), para los cuatro tratamientos.	57
<b>Figura 20.</b> Peso de la espiga promedio (grs.), para los cuatro tratamientos.	58
<b>Figura 21.</b> Altura de las plantas (cm.), para los cuatro tratamientos.	59
<b>Figura 22.</b> Distancia entre plantas promedio (cm.), para los cuatro tratamientos.	60
<b>Figura 23.</b> Peso de mil granos promedio (grs.), para los cuatro tratamientos.	61
<b>Figura 24.</b> Relación grano: marlo de la espiga, para los cuatro tratamientos.	61
<b>Figura 25.</b> Índice ambiental de los diferentes tratamientos, para los 3 bloques.	63

### **INDICE DE FOTOS**

<b>Foto 1.</b> Raíces del tratamiento con cincel y sin fertilizar.	54
<b>Foto 2.</b> Raíces del tratamiento con cincel y fertilizado.	54
<b>Foto 3.</b> Raíces del tratamiento sin cincel y fertilizado.	56
<b>Foto 4.</b> Raíces del tratamiento sin cincel y sin fertilizar.	56
<b>Foto 5.</b> Espigas del tratamiento sin cincel y sin fertilizar (arriba), y sin cincel fertilizado (abajo).	59
<b>Foto 6.</b> Espigas del tratamiento con cincel y fertilizado (arriba), y con cincel sin fertilizar (abajo).	59
<b>Foto 7.</b> Espigas del tratamiento con cincel y sin fertilizar (arriba), y sin cincel sin fertilizar (abajo).	62
<b>Foto 8.</b> Espigas del tratamiento con cincel y fertilizado (arriba), y sin cincel fertilizado (abajo).	62

## **RESUMEN:**

El aumento de la demanda de alimentos, proporcional a la población mundial, promueve una explotación permanente de recursos naturales, que con lleva en muchos casos a degradación de suelos. Entre estos procesos la compactación de suelos puede tener origen antrópico en especial en sistemas bajo siembra directa y en ambientes semiáridos, como el estudiado en este trabajo.

Se planteo como hipótesis que el uso de un abresurco conformado por un azadón corto provisto de alas en la siembra directa en el cultivo de maíz aumenta el rendimiento en granos por una mejora transitoria de las condiciones físicas de la cama de siembra. El objetivo fue evaluar el efecto sobre el suelo y en el cultivo de maíz de un abresurco descompactador como accesorio en la línea de siembra de sembradoras de siembra directa, con y sin fertilización. El trabajo de investigación se llevo a cabo en la localidad de La Punilla, San Luis. Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Los tratamientos fueron: Cincel fertilizado, cincel sin fertilización, sin cincel fertilizado y sin cincel sin fertilizante (testigo). Los resultados se analizaron mediante ANOVA con el programa estadístico Infostat y con un nivel de significación ( $p \leq 0,05$ ).

Las variables de suelo estudiadas fueron: Densidad Aparente (**PEA**) y Resistencia Mecánica (**RP**), y las variables del cultivo fueron: Rendimiento, Peso de mil granos, Peso de espiga y cualitativamente, perfil de raíces.

Los resultados mostraron que en los tratamientos con cincel el rendimiento fue significativamente mayor; coincidiendo también el peso de mil granos y el peso de la espiga. Para las variables de suelo los tratamiento con cincel tuvieron mayor densidad aparente entre los 15 y 25 cm. de profundidad, y menor resistencia mecánica (**RP**) para esa profundidad.

No encontrándose diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) para aquellos tratamientos fertilizados y sin fertilizar. Se concluye que el uso de cincel escarificador en la siembra aumenta significativamente los rendimientos de maíz en Haplustoles énticos del Este de San Luis, aunque los efectos mostraron fuerte interacción con el ambiente.

## **SUMMARY:**

The increase of the demand of foods, proportional to the world-wide population, promotes a permanent operation of natural resources, that with takes in many cases to ground degradation. Being these processes the ground compaction can have antrópico origin in special in systems under direct sowing and semi-arid atmospheres, like the studied one in this work.

I consider like hypothesis that the use of abresurco conformed by a short grub hoe provided with wings in direct seedtime in the maize culture increases the grain yield by a transitory improvement of the physical training conditionses of the sowing bed. The objective was to evaluate the effect on ground and maize culture of abresurco descompactador like accessory in the line of sowing of sowings machine of direct sowing, with and without fertilization. The work of investigation I am carried out in the locality of the Punilla, San Luis. A design in blocks at random with 4 treatments and 3 repetitions was used completely. The treatments were: Fertilized chisel, chisel without fertilization, fertilized chisel and chisel without fertilizer (witness). The results were analyzed by means of ANOVA with the statistical program Infostat and a level of meaning ( $p \leq 0,05$ ).

The studied ground variables were: Apparent density (PEA) and Resistencia Mecánica (RP), and the variables of the culture were: Yield, Weight of thousand grains, Weight of ear and qualitatively, profile by roots.

The results showed that in the treatments with chisel the yield was significantly greater; agreeing also the weight of thousand grains and the weight of the ear. For the ground variables the treatment with chisel had greater apparent density between the 15 and 25 cm. of depth, and minor mechanical resistance (RP) for that depth.

Not being significant difference ( $p \leq 0,05$ ) for those fertilized treatments and without fertilizing.

One concludes that the use of escarificador chisel in seedtime significantly increases the yields of maize in Haplustoles énticos of the East of San Luis, although the effects showed strong interaction with the atmosphere.

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN:**

La humanidad, en búsqueda del desarrollo económico y del goce de las riquezas naturales, debe hacer frente a la realidad de lo limitado que son los recursos, como también la capacidad y fragilidad de los ecosistemas. Todo esto indica que debe tener presente las necesidades de las generaciones futuras (Crovetto Lamarca, 1992).

El suelo es el material sobre el que se basa la producción animal y vegetal; por lo tanto la producción de alimentos para los seres humanos depende de los usos que se den al mismo y de las tecnologías utilizadas para su aprovechamiento. El correcto uso y manejo de los suelos para una producción sostenible tiene dos objetivos: producir alimentos y fibras para obtener utilidades y mantener o mejorar la capacidad productiva del suelo a largo plazo (Davies et al., 1982).

De los alimentos que consume la población mundial el 97% proviene del suelo. La capa cultivable tiene solo 20 cm pero es esencial para el desarrollo de la vida. Allí se encuentran la mayoría de los elementos que los cultivos necesitan para crecer y brindar productos alimenticios. Cuidar este recurso limitado, cuya formación demanda miles de años, es el primer requerimiento para la agricultura sustentable del nuevo siglo (Álvarez y Mulin, 2004).

La necesidad de una agricultura de productividad creciente genera una mayor presión sobre los recursos naturales, instalándose un conflicto con los principios o fundamentos de la sustentabilidad. El desarrollo sustentable es un concepto que impone límites, tanto sobre la presión que se puede ejercer sobre el ambiente, como sobre la tecnología que se puede generar para potenciar el crecimiento económico y el bienestar (Viglizzo, 1994).

Si consideramos las prácticas agrícolas actuales y los efectos que producen sobre el suelo, las mismas no siempre están adecuadas a las características y limitaciones de los mismos, siendo las discrepancias entre lo que se hace y lo que se debe hacer, de variada magnitud.

Si bien históricamente el 75 % de la actividad agropecuaria de la provincia de San Luis correspondido a la ganadería, no es menos cierto que el área del Conlara tiene una larga historia agrícola, que se remonta a fines del siglo XVIII (Puricelli y Demmi, 1987).

En esta región centro este de la provincia de San Luis se vienen reconociendo desde 1978 los suelos que caracterizan a esta región, teniendo en cuenta las características del paisaje, en ellos conviven habitualmente Entisoles y Molisoles, con régimen de humedad edáfico ustico, asociados a veces con suelos menores (salinos especialmente), siendo la mayoría de los suelos de mediana a alta susceptibilidad a erosión eólica (Puricelli y Demmi, 1987).

El hecho de que este trabajo de investigación se lleve a cabo en una zona susceptible a procesos erosivos, justifica así, al estudio de un tipo de labranza particular con un accesorio, en presencia de compactación superficial.

### **1.1 ANTECEDENTES SOBRE COMPACTACION:**

La compactación de suelos es un tema mencionado en la literatura edafológica hace mas de 50 años atrás; su cuantificación precisa no es fácil, ni tampoco son simples las interrelaciones entre este fenómeno, las propiedades del suelo como cuerpo natural y los requerimientos de las plantas.

La compactación de los suelos es un tema de creciente importancia en la agricultura moderna. El uso de tractores y equipos cada vez mas grandes (y mas pesados); el mayor numero de pasadas sobre el terreno (barbechos mas largos, mayor numero de aplicaciones de agroquímicos, etc.) el doble cultivo anual, son los factores condicionantes. Por lo tanto hay que tener en cuenta que, la presión de inflado, los parámetros constructivos de los neumáticos, como sus dimensiones, el tipo carcasa (común o radial) y su flexibilidad, tienen una importancia relevante sobre la compactación. En el caso argentino, el uso inoportuno de la maquinaria por exceso de humedad edáfica, y la repetición prolongada de cultivos, son hechos agravantes (Morando, 1984).

Uno de los principales problemas físicos que surgen del uso y manejo del suelo es la compactación (Soane y van Ouwerkerk 1994, Quiroga et al. 1996). La compactación del suelo afecta negativamente la fertilidad física del suelo con disminución de la porosidad y la velocidad de infiltración, aumento de la resistencia mecánica, y alteración de la capacidad de retención de agua, la disponibilidad de agua y nutrientes, la eficiencia del uso de fertilizantes y el rendimiento de cultivos. Además, la compactación incrementa el riesgo de erosión hídrica y de contaminación por los sedimentos arrastrados (Hamza y Anderson, 2005).

La compactación constituye uno de los procesos de degradación física de suelos más importante que afecta la productividad de los cultivos. En la Argentina, existe aún escasa información experimental sobre esta temática en diferentes tipos de suelos y condiciones de manejo. Los suelos de la Pampa Ondulada se caracterizan por presentar una mayor susceptibilidad a sufrir procesos de degradación física, debido fundamentalmente a su prolongada historia agrícola y su textura limosa (limos finos y muy finos), que le confieren una baja capacidad de regeneración de la estructura y porosidad luego de sufrir la densificación o compactación.

Una medida de la compactación del suelo es la densidad aparente. De éste indicador del suelo, se presenta en la bibliografía una disparidad de valores críticos por encima del cual se reciente el crecimiento

radicular, y se encuentra una baja correlación con la respuesta de los cultivos, por lo que Håkansson y Lipiec (2000) concluyen que el grado óptimo de compactación es virtualmente independiente de la textura del suelo. Micucci y Taboada (2006), infiriendo el grado de compactación a partir del crecimiento radicular de la soja en tres suelos, concluyen que son las propiedades del subsuelo y no los sistemas de labranza el principal factor que determina el crecimiento de las raíces.

La compactación puede ser solucionada mediante el uso de distintas medidas correctivas, pero es necesario que estas estén al alcance cognitivo, tecnológico y económico de sus destinatarios. La utilización adecuada de herramientas de labranza, se plantea como una alternativa factible para enmendar los inconvenientes que se generan en los suelos agrícolas bajo siembra directa continua.

La compactación disminuye el volumen de poros del suelo, y en consecuencia, incrementa su densidad aparente (Gueçaimburu et al 2003). Abou Arab et al. (1998) señalan que la compactación de suelos agrícolas resulta en aumentos considerables de resistencia mecánica y la retención y transmisión del agua en el suelo.

Diversos autores plantean respuestas dispares de los efectos sobre la descompactación inducida por distintas máquinas de labranza en el cultivo de soja. Terminiello et al. (2007a) cita que el pasaje del descompactador mejoró el rendimiento en siembra directa, en condiciones de alta impedancia del suelo (1,5 MPa a 10 cm y 2,5 MPa a 30 cm), como consecuencia de lograr un mayor número de plantas y granos por unidad de superficie. El escarificado periódico disminuye la compactación inducida por el tráfico agrícola y por debajo de la profundidad del órgano activo contribuyendo a la sustentabilidad del sistema (Terminiello et al., 2007b). Utilizando arado de reja, rastra de casquetes, arado de casquetes y arado rotativo, Carvalho Filho et al. (2006), no hallan diferencias significativas en el día medio a emergencia y el rendimiento. A iguales resultados llegan Soza et al. (2007) al confrontar el efecto de sucesivas pasadas de rastras de casquetes, concluyendo sobre la factibilidad de su aplicación ante la evidencia de compactación por siembra directa. Longsdon et al. (1999) no hallaron diferencias entre las densidades de un suelo laboreado con cincel y bajo siembra directa, ni entre los rendimientos, y Secco et al. (2004) con el cincelado de un suelo, en una rotación de ocho años en siembra directa, no se tradujo en un aumento del rendimiento.

Se acepta que valores de resistencia a la penetración de 1,5 MPa reducirían el crecimiento de las raíces y, de 2 o más MPa lo impedirían (Treadgill 1982). Chidichimo et al. (1997) hallaron que niveles de densidad aparente de 1,41 Mg m<sup>-3</sup> en un suelo franco limoso, ocasionaron disminución severa de la producción de raíces, comparada con una densidad de 1,09 Mg m<sup>-3</sup>.

Se ha intentado relacionar la resistencia a la penetración de un suelo con la capacidad de las raíces para colonizarlo. Los resultados son variables debido entre otros factores a la capacidad de las raíces de rodear

obstáculos, de crecer en grietas horizontales, al efecto lubricante del mucigel, a la variación en la forma del cono por adherencia del suelo y a la dependencia de las lecturas de la humedad. No obstante a esto, es generalmente aceptado que valores de resistencia a la penetración de 1500 kPa reducirían el crecimiento de las raíces y de 2000 o más kPa lo impedirían (Threadgill 1982).

El crecimiento de raíces en el cultivo de maíz se vio afectado por valores de densidad aparente de 1,25 y 1,41 g/cm<sup>3</sup>, los cuales ocasionaron diferencias en la producción de raíces, respecto a un tratamiento con 1,09 g/cm<sup>3</sup>, cuantificadas a través del peso seco y la longitud de las mismas (Chidichimo et al. 1997). Boone y Veen (1982) en un ensayo en macetas determinaron que el peso fresco de raíces no se modificó por valores de índice de cono entre 300 y 3000 kPa, pero la extensión de raíces si lo hizo, habiendo decaído un 50 % la tasa de elongación de raíces de maíz con aumentos de resistencias a la penetración del suelo en el rango de 900 a 1600 kPa.

La degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie, con el surgimiento de finas costras, como bajo la capa arada, donde surgen capas compactadas. Con esa degradación, las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan (Fogante y Pellizzón, 1999). Las principales causas que inducen la degradación física del suelo, provocando un aumento en la compactación son (Fogante y Pellizzón, 1999): Cobertura inadecuada de la superficie del suelo, que expone los agregados de la superficie del suelo a la acción de lluvias; como consecuencia ocurre el colapso estructural de estos agregados, formándose costras con espesor medio de un milímetro que reducen drásticamente la infiltración de agua. Excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada: la labranza en exceso y superficial lleva a la rotura de los agregados, favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas (erosión). La reducción de la rugosidad provocada por la labranza induce a una elevación de la velocidad del escurrimiento y a la disminución de la tasa de infiltración, aumentando los efectos erosivos por la mayor energía cinética del agua en la superficie del suelo. A su vez, la utilización de equipos inadecuados y pesados y el pasaje de maquinaria sobre el suelo cuando este presenta consistencia plástica lleva al surgimiento de capas compactadas subsuperficiales, normalmente situadas entre 10 y 30 cm de profundidad y con un espesor de 10 a 15 cm. Esas capas ofrecen fuerte resistencia a la penetración de las raíces de las plantas y restringen la capacidad de infiltración de agua y la aireación. Las modificaciones de las propiedades físicas del suelo a causa de los sistemas de labranza pueden dar origen a una elevación de la densidad del suelo, una mayor resistencia a la penetración de las raíces y a una disminución en la porosidad, caracterizándose por una capa compactada abajo de la capa arada. Esa capa compactada afecta el movimiento del agua y el desarrollo del sistema radicular por el impedimento mecánico, por la deficiencia de aireación, por la menor disponibilidad de agua y por alteraciones en el flujo de calor. La tasa de infiltración de agua en el suelo es

condicionada por los siguientes factores: estado de la superficie del suelo, tasa de transmisión de agua a través del suelo, capacidad de almacenamiento y características del fluido. La infiltración de agua en el suelo refleja las condiciones de las propiedades físicas. Los sistemas de cultivo y labranza influyen la tasa de infiltración final del agua en el suelo, tanto por la modificación de la rugosidad y cobertura de la superficie, como por la alteración de la estructura, de la densidad y de la porosidad.

La capa compactada tiene origen en la base de la capa arable. La profundidad en la que esa se encuentra tiene mayor o menor efecto sobre el desarrollo del cultivo; capas compactadas a diferentes profundidades tienen efecto negativo diferenciado sobre el rendimiento de los cultivos: el efecto es más negativo a 10 cm que a 20 o 30 cm de profundidad (Cannell et al., 1973).

Como consecuencia de la elevación de la densidad, hay una elevación de la resistencia a la penetración de las raíces mucho más significativa que el aumento de la densidad. Voorhes et al. (1978), trabajando en un suelo franco arcillo-limoso, observó, bajo el mismo peso de vehículos, que la densidad del suelo aumentó 20%, mientras que la resistencia a la penetración aumentó más de 400%. Los valores de resistencia a la penetración de las raíces que limitan el desarrollo de las plantas varían de un cultivo a otro.

La importancia de las alteraciones producidas por los sistemas de cultivo sobre la densidad del suelo, porosidad y resistencia a penetración es destacada en el trabajo de Chagas et al. (1994), que observó que el suelo en un monte, comparado con el mismo suelo bajo sistemas de labranza convencional, tiene mayor porosidad y menor densidad y resistencia a la penetración de raíces. Fogante y Pellizzón, (1999) encontraron una disminución en la porosidad y aumento en la densidad del suelo y en la resistencia a la penetración, en el siguiente orden: suelo bajo bosque, área cultivada con tracción animal, área bajo siembra directa, área desbrozada con tractor con tapadora y área bajo cultivo convencional (Cannell, 1973) afirman que, generalmente, la densidad del suelo es mayor bajo siembra directa que bajo cultivo convencional, pudiendo no ocurrir eso debido a la textura gruesa y/o al alto tenor de materia orgánica de estos suelos.

Estudios realizados en maíz por la universidad de Purdue (EEUU) demostraron que sobre un rendimiento promedio de noventa quintales / ha. Hubo una disminución de 13 qq/ha. debido a la compactación producida por las cubiertas de la cosechadora en la campaña anterior.

En otro ensayo el rendimiento de maíz se redujo en 15 qq/ha. después de 4 años de compactación del subsuelo. Otro ensayo realizado durante 3 años por la universidad de Colorado (EEUU) demostró que hubo una reducción del 26 % en el rendimiento del cultivo del poroto var. "pinto", debido a la compactación causada por las cubiertas del tractor. En general se estima que las pérdidas de rendimiento causadas por la compactación del suelo pueden superar el 10-20 % (Fogante y Pellizzón, 1999).

Numerosos autores encontraron una mayor resistencia mecánica en los primeros centímetros del suelo bajo siembra directa y labranza mínima que en labranza convencional (Ferrerías, 1996; Taboada *et al.*, 1998. Vidal y Costa, 1998).

Bonadeo *et al.* (2003), evaluaron la relación existente entre resistencia mecánica y el crecimiento de raíces de maíz en un suelo Hapludol típico de la zona de Río Cuarto con tres niveles de compactación subsuperficial, y observaron que los menores valores de resistencia a la penetración anteriores a floración en la situación de menor compactación, permitieron que se desarrolle un sistema de raíces, que ante condiciones similares de estrés y en la etapa de llenado de granos de maíz, evidenció una menor afectación en el rendimiento que el resto. Por otra parte los autores sostienen que el aumento de la resistencia a la penetración cuando disminuye el porcentaje de humedad es más marcado para altas densidades aparentes del perfil.

La absorción de agua y nutrientes puede ser afectada por alteraciones en el crecimiento de raíces y su proliferación dentro del perfil del suelo debido a impedancia mecánica. (Taboada *et al.*, 2002).

La densificación de la capa superficial de los suelos bajo sistemas sin remoción continua es considerada una limitante para adoptar los sistemas de labranza cero en la región Pampeana (Chagas *et al.*, 1994; Ferrerías *et al.*, 1996; Domínguez *et al.*, 2000), pudiendo en ciertos casos, reducir el rendimiento de los cultivos (Schmidt *et al.*, 2006). Esta densificación de la capa superficial sólo puede ser disminuida con labranzas de tipo vertical (Fontanetto y Gambaudo, 1996).

Domínguez *et al.* (2000) registraron una mayor compactación superficial y una mayor capacidad portante en suelos bajo siembra directa. Por otra parte, los residuos de cosecha sobre la superficie del suelo colaboran en el aumento de la capacidad portante del suelo y también en la disminución de los efectos perjudiciales del tránsito (Torbert y Reeves, 1995).

Diversos indicadores han sido estudiados para evaluar la degradación de los suelos por efecto del uso, uno de ellos es la densidad aparente, de la que ya hace años que se tiene conocimiento de su afectación en los suelos argentinos.

Unger (1996) indicó que debe tenerse particular interés en el seguimiento de la densidad aparente y el índice de cono, puesto que ambos factores pueden modificar la infiltración, el crecimiento radical y el rendimiento de los cultivos.

Dentro de los parámetros para la estimación de la compactación, Voorhees *et al.* (1978) citan que la densidad aparente es uno de los índices más indicativos, basado en el muestreo y posterior análisis de laboratorio.

La compactación del suelo es una limitante para el desarrollo radicular de las plantas, y asociada al contenido de humedad puede convertirse en determinante del éxito de una campaña agrícola (Taylor, 1971).

Independientemente de los efectos del tránsito, la densidad aparente del suelo y el índice de cono a nivel superficial y subsuperficial pueden incrementarse naturalmente en los sistemas de siembra sin labranza previa. Unger (1996) indicó que los incrementos naturales en estos parámetros usualmente están limitados a los 0,15 m superiores del perfil el suelo. La condición física del suelo en los estratos superiores del terreno incide también sobre la implantación y el desarrollo inicial de los cultivos. En general, el proceso de germinación es más rápido y completo con densidades de 1, 2 Mg m<sup>-3</sup> o menores, con diámetro medio de agregados igual o menor a 4 mm. y con valores de índice de cono menores 1,4 Mpa. Daddow y Warrington (1983) establecieron como umbral de crecimiento radical 1, 65 Mg. m<sup>-3</sup>.

La susceptibilidad de los suelos a la compactación disminuye típicamente con el aumento del contenido de arcillas y limo y con el contenido de carbono orgánico. Por eso resulta claro que suelos degradados no solo se vuelven menos fértiles, sino también más susceptibles a la compactación. (Taboada et. al, 1998).

Håkansson et al. (1987) reportan incrementos de la compactación por debajo de los 400 mm debidas al tránsito con cargas superiores a 60 kN por eje. Voorhess et al. (1978) citan incrementos de resistencia a la penetración hasta una profundidad de 300 mm causados por el tránsito con cargas menores o iguales a 44 kN por eje.

Smith y Dickson (1990) demostraron que la presión de contacto influye sobre la compactación superficial. Sin embargo, la compactación del subsuelo, por debajo de 400 mm de profundidad, está directamente influenciada por el peso de los vehículos, en forma independiente de la presión. Güclü Yavuzcan et al. (2002) reportan que los tratamientos de labranza reducen la resistencia mecánica del suelo, pero procesos naturales y el tráfico vehicular causan la recompactación del mismo a valores similares a los de origen.

En adición, el hecho de transitar suelos con elevado contenido hídrico induce al incremento de la mencionada compactación (Botta et al., 2002).

## **1.2 ANTECEDENTES SOBRE LABRANZAS:**

La siembra directa, actualmente, constituye el principal sistema de manejo en la región. La escasa o nula remoción del suelo y el tráfico no controlado de maquinaria agrícola muy pesada bajo este sistema de labranza, pueden determinar procesos de compactación superficial y subsuperficial que limiten la productividad de los cultivos. Las raíces de maíz responden negativamente a la presencia de capas compactas en el subsuelo, pero no siempre con impacto sobre los rendimientos (Díaz Zorita, 2000).

El tráfico de máquinas pesadas en siembra directa genera la compactación superficial del suelo (Silva et al., 2000), por lo que las raíces no utilizan adecuadamente el agua y los nutrientes (Queiroz-Voltan et al., 2000), llevando a una disminución de los rendimientos (Beutler y Centurion, 2003). Esta secuencia de eventos es observada por Botta et al. (2004) en el cultivo de soja.

Maroni y Medera (1989) definen como labranza a la operación de preparar el suelo, para ponerlo en condiciones de realizar la implantación de un cultivo. Las labranzas destruyen la estructura del suelo, inclusive los agregados y reducen el contenido de materia orgánica, aumentando así la densidad de estos. Los suelos con menos materia orgánica tienen menos agregados estables que el mismo suelo con un contenido de materia orgánica más alto (Fogante y Pellizzón, 1999).

La desagregación del suelo es causada por el movimiento intenso del suelo a causa de las prácticas de labranza, por la reducción del tenor de materia orgánica, por el intenso pisoteo del ganado y por el impacto de la gota de lluvia sobre la superficie desprotegida.

El contenido de humedad del suelo en el momento de la labranza es un factor que determina la intensidad de desagregación del mismo. El efecto perjudicial del peso de la maquinaria agrícola y la labranza excesiva del suelo, bajo condiciones de humedad desfavorables, tiende a ser acumulativo, intensificándose con la secuencia de labranzas anuales.

La desagregación del suelo puede ser reducida por su menor labranza, por la rotación de cultivos y por la protección de la superficie del suelo con residuos de cultivos (Fogante y Pellizzón, 1999).

Cisneros et al. (1997) y Uberto et al. (2002) encontraron severos procesos de compactación superficial inducida por el tránsito y no revertida por la técnica de la siembra directa.

En los últimos años la superficie implantada con SD ha experimentado un aumento importante dentro de la superficie agrícola del país, principalmente en el caso de los cultivos de soja y maíz y, en menor medida, en los de girasol y trigo. (Méndez Duhau y Satorre (1998), describen la técnica de “siembra directa” o “labranza cero” (SD) como aquella sustentada en el control químico de las malezas y en la ausencia de remoción del suelo, a excepción de la línea del surco de siembra. Estos autores señalan que las ventajas de la siembra directa respecto de la labranza convencional son: a) brindar mayor seguridad en la oportunidad de siembra; b) permitir mayor beneficio en la economía del agua; c) conservar la estructura del suelo; d) mejorar la fertilidad física y química de los suelos; e) posibilitar el incremento de la duración de los ciclos agrícolas. Sin embargo, la adopción del sistema de siembra directa no siempre resultó favorable desde el punto de vista de los rendimientos de los cultivos agrícolas, situación que se ha atribuido al desarrollo de compactación superficial (Lavado et al., 1998), fenómeno vinculado con la modificación de diversas propiedades edáficas.

La región semiárida Argentina se caracteriza por la escasa sustentabilidad de la agricultura; reflejada en la degradación de los suelos y la escasa productividad de los cultivos. En este sentido, Silenzi et al. (2001) encontraron deterioros importantes en la estructura del suelo, disminución en la economía del agua, aumentos en el riesgo de erosión y mermas en la producción de trigo en la región semiárida pampeana. Estos se lograron reducir con la incorporación de un sistema de siembra directa (SD) (Silenzi et al., 2001). En los últimos años, a pesar de las condiciones marginales de esta ecoregión, ha ido aumentando significativamente la adopción de la SD debido a diferentes causas: mejor aprovechamiento de las lluvias, control de la erosión, tanto hídrica como eólica, y menores costos de labranza. Sin embargo, la introducción de este sistema de labranza en planteos de agricultura continua produce cambios en las propiedades físicas del suelo que pueden afectar la sustentabilidad del mismo (Díaz Zorita et al. 2002, Vallejos et al. 2006). Es una apreciación común que la SD produce un incremento en la densidad aparente (DA) en los primeros cm del suelo y que, los sistemas con remoción, inducen a una menor compactación superficial. Algunos suelos manejados en SD suelen desarrollar compactación, debido a una combinación de factores naturales como textura, mineralogía, materia orgánica, y otros, derivados de la acción antrópica, como ausencia de remoción mecánica y tráfico agrícola con maquinarias de gran peso (Botta et al., 2004). Esta condición puede verse intensificada en suelos que, por sus propiedades texturales y reducido contenido de carbono orgánico, presentan escasa capacidad para regenerar su estructura. Esta situación es común en suelos de textura franco arenosa en el sudoeste bonaerense o de textura limosa en el norte bonaerense. Existe información con resultados dispares respecto al efecto de la SD sobre las propiedades físicas de los suelos. Algunos autores hallaron valores superiores de DA, en suelos bajo SD, comparado con labranzas reducidas o convencional (Ferrerías et al. 2000; Díaz-Zorita et al., 2002, Schmidt et al., 2006) mientras que otros no encuentran diferencias entre estos sistemas de labranzas (Kruger, 1996). Esta percepción sobre la densificación de la capa superficial en sistemas de SD, más el efecto de densificación subsuperficial heredado de años de agricultura efectuada con labranza convencional ha llevado a proponer la disrupción mecánica de capas compactadas con implementos de labranza vertical profunda (e.g. "para-till", "para plow") con resultados no concluyentes en cuanto a resistencia a la penetración (RP), crecimiento de las raíces y rendimientos del cultivo (Elisondo et al., 2001; Díaz-Zorita et al., 2002; Alvarez et al., 2006; Zajac et. al 2007).

No existen a nivel local antecedentes científicos de valoración de los efectos de descompactación de suelos bajo SD por varios años.

No obstante, existe evidencia de que la siembra directa afecta las propiedades físicas del suelo, produciendo una densificación significativa de los primeros 200 mm (Quiroga et al., 1996).

Una elevada compactación superficial genera condiciones de suelo inadecuadas para la emergencia de los cultivos (Botta et al., 2004); Jorajuría y Draghi (1997) encuentran reducción del crecimiento de especies forrajeras ante magnitudes de densidad aparente superiores a 0,93 g cm<sup>3</sup>, en el rango de 0 - 300 mm de profundidad.

Las labranzas modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Existe información con resultados dispares sobre el efecto de los distintos sistemas de labranza. Si bien las condiciones de suelo, la rotación de cultivos y el tiempo desde que se aplican las labores varían, numerosos autores concluyen que bajo siembra directa, se produce un incremento en la compactación y en la resistencia a la penetración, por lo menos a nivel superficial (Botta et al., 2006; Díaz Zorita et al., 2002). El incremento en la compactación puede afectar el abastecimiento de agua, aire, y la disponibilidad de nutrientes. Por el contrario, una consecuencia favorable de los sistemas que dejan el rastrojo en superficie es el incremento en la proporción de materia orgánica y en la estabilidad de los agregados del suelo. Actualmente se considera que los sistemas conservacionistas son aquellos que dejan una cobertura de residuos del 60 % (Marelli, 1998). Aunque está probada la superioridad de los sistemas conservacionistas sobre los convencionales en la mejora en la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas, la velocidad de los cambios no es la misma según varíen las condiciones climáticas y de suelo entre zonas húmedas y secas de la pampa Argentina (Buschiazzo et al., 1998).

Por otra parte las labranzas verticales (cincelado y subsolado) fueron consideradas por Maroni y Medera (op.cit), como sistemas de labranza conservacionista que tienden a reducir las pérdidas de agua y suelo y preservan la estructura edáfica. Favorecen ciertos procesos como la infiltración del agua de lluvia y la conservación de la humedad. La posibilidad de identificar una mínima cantidad de datos o de una lista de parámetros principales es propuesta por varios investigadores (Larson and Pierce, 1991; Arshad and Coen, 1992), con el propósito que estos datos incluyan atributos que permitan indicar la calidad del suelo y sus cambios por el efecto de diferentes prácticas de manejo (Cannell and Hawes, 1994).

Álvarez et al., 2006, concluyen que la introducción de algún laboreo vertical en suelos con varios años de siembra directa puede disminuir el efecto de la compactación producida por la falta remoción del suelo y el “acomodamiento de partículas en la capa superficial del mismo”, aunque esto implique pérdida de cobertura de residuos. A su vez no se sabe a ciencia cierta qué tan efectivas son estas labores en el tiempo, o lo que es lo mismo con qué frecuencia debieran repetirse.

En cuanto a la eficiencia de la labor de aflojamiento, Mckyes (1985) sostiene que el efecto de una labor de aflojado dependerá de varios factores, incluyendo la densidad del suelo, el contenido de humedad, la geometría de la herramienta y la velocidad de labor.

Como consecuencia de la descompactación se han verificado aumento en la velocidad de infiltración del agua (Sojka et al. 1993, Carter et al. 1996, Pikul y Aase 1999), aumento en la conductividad hidráulica de horizontes compactados (Harrison et al. 1994), disminución de la resistencia a la penetración (Orellana et al. 1990, Sojka et al. 1993), mayor crecimiento radical (Vepraskas y Miner 1986, Orellana et al. 1990, Gill et al. 1955, Sojka et al. 1993) y aumento del rendimiento del cultivo (Mora et al. 2001).

Los mecanismos de la reconsolidación no son claros. En ellos participan las variaciones en el contenido de humedad del suelo al momento de realizar el subsolado, las operaciones de labranza secundaria (Unger 1993), los ciclos de humedecimiento - secado, congelamiento - deshielo (Dexter 1991, Carter et al. 1996) y la actividad biológica (Cassel y Nelson 1985). Barber (1994) sostiene que cuando las precipitaciones ingresan al perfil, disgregan los terrones débilmente estructurados, promoviendo un rearrreglo y empaquetamiento cerrado de las partículas, conformando nuevamente una matriz densa.

Leiva y Hansen (1984), encontraron una relación entre resistencia mecánica y contenido de humedad del suelo. Al comparar sistemas de labranza que trabajaban a distintas profundidades, observaron que, a 30 cm por debajo de la superficie del suelo, se registraban los máximos valores de presión junto con los mínimos contenidos de agua. En el mismo trabajo, la sumatoria de los valores de resistencia mecánica de los distintos estratos para cada uno de los tratamientos, reflejó para esa propiedad, el siguiente orden decreciente: 1) SD, 2) arado de disco, 3) LC, 4) labranza combinada y 5) arado de cinceles. Díaz Zorita (2000) encontró que en SD, se presentaban mayores valores de densidad aparente y resistencia a la penetración en las capas superficiales, lo cual lo atribuyó a la mayor compactación originada por el pasaje de maquinarias pesadas y el asentamiento del suelo por ausencia de remoción.

Centurion (1987) encontró que los distintos sistemas de labranza producen compactación a profundidades también distintas: la SD a una profundidad de 3 cm; la LR entre los 10 y 13 cm y la LC entre los 20 y 23 cm. Corsini y Ferraudó (1999) demostraron que el subsolado, arado y disqueado del suelo mejoran la macroporosidad y el desarrollo radical por un período de tiempo corto.

En cambio, para Evans et al. (1996), el subsolado no determinó aumento del almacenaje de agua ni del rendimiento. Ensayos realizados en China, por Xu-Di et al. (1999) reportaron menor almacenaje de agua en suelos tratados con esta práctica los cuales, no obstante ello, produjeron rendimientos superiores probablemente asociados con la posibilidad de una mejor exploración radicular. Wang Shi Xin et al. (1996) informaron, para una zona semiárida de China, que el subsolado aumentaba la penetración y el almacenaje de agua en el perfil, situación que, más marcadamente en soja que en maíz, se asociaba con mayor desarrollo de raíces y rendimiento. De Boer et al. (1989) observaron que el subsolado reducía las pérdidas por escurrimiento y determinaba incrementos en la producción. En el mismo sentido Lal et al. (1991) mencionan incrementos en el uso del agua y el rendimiento asociados al subsolado.

La labranza del suelo puede, inicialmente, mejorar la infiltración y, algunas veces, beneficiar el drenaje. Pero, con el tiempo, la labranza favorece la degradación de la estructura y la reducción de la tasa de infiltración.

### **1.3 ANTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO:**

Puricelli (1985) considera que la degradación química y física de los suelos constituye el proceso de deterioro más común y difundido en la región pampeana, y es consecuencia de una agricultura rutinaria y no restitutiva, cuyas evidencias indeseables (encostramientos, compactación, manchoneo de cultivos, etc.) se manifiestan incluso en territorio sanluiseño, considerado por entonces la frontera agrícola para condiciones de secano.

Desde su incorporación al sistema productivo la provincia de San Luis ha experimentado importantes variaciones espacio temporales en su paisaje debido a complejas interacciones entre factores físicos, biológicos, y sociales (Collado, 2003). Esta situación ha desencadenado procesos de deterioro ambiental tales como degradación de la cubierta vegetal, erosión eólica e hídrica, que se acentúan con la expansión de las actividades agrícolas hacia áreas de escasa aptitud para la misma, agudizado esto en períodos favorables de precipitaciones y/o precios de los granos. En los últimos años la actividad agrícola ha incursionado cada vez más al S y al O de San Luis, ambientes con graves limitaciones para el desarrollo de los cultivos anuales, merced a la incidencia de emprendimientos de inversión que encuentran tierra de escasa aptitud para la agricultura pero con superficie importante y precios de arrendamiento muy inferiores a los de otras regiones cultivadas del país (Collado, 2003).

La actividad agrícola provincial se desarrolla en los mejores suelos, Haplustoles enticos, correspondientes al orden Molisol, en los Ustortentes u Ustipsamientos típicos del orden Entisoles (d'Hiriart et al., 1996).

Casagrande Vergara (1996) mencionan el desplazamiento de las isohietas hacia el oeste, destacando que la isohieta de 600 mm del período 1981-1994 ha tenido un corrimiento uniforme de aproximadamente 50 km. hacia el oeste de toda la región. En consecuencia, todo el sector oriental de la provincia de San Luis se ubica al este de la misma, siendo la zona de Villa Mercedes la que tuvo los mayores incrementos de precipitaciones (14 %), fundamentalmente en el período normal de lluvias (de octubre a marzo) con lo cual se favorece a los cultivos estivales. Este fenómeno es posteriormente comprobado por Berton y Echeverría (1999), quienes observaron un aumento de la pluviosidad durante las últimas décadas, que explicaría la expansión de la frontera agrícola en la provincia de San Luis.

#### **1.4 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE MAÍZ:**

El maíz es uno de los principales cereales, junto al arroz y al trigo, y se emplea en alimentación humana y animal, originario de América, comenzó a cultivarse entre los mayas y los aztecas, y ahora tiene difusión mundial, en especial en zonas templadas. El maíz, perteneciente a la familia de las gramíneas, es una planta anual, de hábito de crecimiento primavero-estival, produce altos rendimientos en comparación con el trigo la soja y el girasol.

El maíz es uno de los productos agrícolas más importantes y el tercero más cultivado en el mundo, durante la campaña agrícola 2001/2002 los principales productores mundiales fueron: Estados Unidos (250), China (120), Brasil (38), México (19), Francia (18), Argentina (14,7), otros países (160) millones de toneladas respectivamente.

La posición de nuestro país en el mercado del maíz tiene regular relevancia, es el segundo exportador y el sexto productor mundial, el maíz se produce desde Salta hasta el sur bonaerense, la zona núcleo maícera abarca el sudeste de Córdoba, sur de Santa Fe y norte bonaerense.

En su larga trayectoria, el mejoramiento genético permitió multiplicar su rinde al desarrollarse híbridos convencionales y transgénicos, en Argentina, el 44% de la superficie cultivada se realiza en siembra directa (Álvarez y Mulin, 2004).

Su rendimiento promedio es de 60 quintales por hectárea, el más alto entre los granos cultivados. La variedad maíz pisingallo tiene gran éxito en los mercados externos, Argentina es el primer exportador del mismo; en las últimas tres décadas, aumentó gracias al incremento la producción por hectárea que paso de 17 qq. /ha. a 60 qq. /ha., esto ocurrió especialmente, por la introducción de nuevos materiales genéticos, con mayor potencial de rendimiento y mejor respuesta a nuevas técnicas de producción (Álvarez y Mulin, 2004).

El maíz es un cultivo de gran potencialidad, así lo demuestran más de 600 subproductos, que abarcan desde alimentos hasta plásticos, papeles y biocombustibles, en la Argentina, el valor bruto de la producción es de 1500 millones de dólares, cifra a la que hay que agregarle la facturación de su agroindustria: alrededor de 4500 millones (Álvarez y Mulin, 2004).

Para la serie de registros 1960-61 a 2002-03 el rendimiento promedio historico es de 1700 kg/ha, citandose incrementos de alrededor del 40 % debidos a la fertilización con N y/ P (Peña Zubiato y Garay, 2003). Los mismos autores informan incrementos superiores al 65 % respecto de dicho valor historico, a partir de los registros correspondientes a 254 lotes de productores enrolados en el Programa Cambio Rural (diferentes zonas y años), en condiciones de secano, con labranza convencional y buenas practicas

agrícolas. El efecto conjunto de siembra directa (5 años) y fertilización posibilitó lograr rendimientos medios de 4500 kg/ha (esto es, superiores en un 165 % al valor histórico).

La combinación de riego y fertilización permitió la obtención de rendimientos medios de 8700 kg/ha (150 % más que el rendimiento fertilizado en seco). La utilización del riego coloca al desarrollo de malezas en un primer plano como limitación cultural: su control químico se tradujo en diferencias de rendimiento de 100 a 250 % (Peña Zubiarte y Garay, 2003).

## **CAPITULO II. HIPÓTESIS:**

El uso de un abresurco conformado por un azadón corto provisto de alas en la siembra directa del cultivo de maíz aumenta el rendimiento en granos por una mejora transitoria de las condiciones físicas de la cama de siembra, y por un mejor aprovechamiento del fertilizante.

## **CAPITULO III. OBJETIVOS:**

### **3.1 Generales:**

- Evaluar el efecto sobre el cultivo de maíz de un abresurco descompactador como accesorio en la línea de siembra de sembradoras de siembra directa, en los tres tratamientos, con respecto a un testigo sin cincel escarificador, con y sin aplicación de fertilizante.

### **3.2 Específicos:**

- Evaluar la densidad aparente en la cama de siembra en la línea y entre línea, en los cuatro tratamientos.
- Evaluar la resistencia mecánica en la cama de siembra en la línea y entre línea, en los cuatro tratamientos.
- Evaluar el contenido hídrico o el % de humedad en la línea y entre línea, en los cuatro tratamientos.
- Determinar el efecto del accesorio sobre el rendimiento en grano total, el peso de mil granos, el peso de las espigas, la densidad de plantas por hectárea a cosecha, altura promedio a cosecha y relación grano: marlo, en los cuatro tratamientos.

## **CAPITULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS:**

### **4.1 Área de estudio:**

El presente ensayo se realizó en el establecimiento La Aguada, ubicado en cercanías de las localidades de La Punilla y Villa del Carmen, departamento Chacabuco, provincia de San Luis, Argentina (Figura 1); siendo ubicada a 90 Km. al oeste de la ciudad de Río Cuarto.

El mapa que se muestra en la Figura 1, representa a nivel esquemático, como se distribuyen los tipos de suelos de la provincia; siendo denominada la zona en donde se realizó el ensayo, como Depresión de Concaran y áreas interserranas. Esta unidad fisiográfica, se caracteriza por ser constituida de terraza aluvial del Río Conlara, los planos aterrazados laterales y los abanicos aluviales que se originan en la sierra de Comechingones. Por ello se reconocen materiales originarios aluviales del Río Conlara, salinizados en capas y a veces muy hidromorficos, depósitos loessicos y otros arenosos o gravillosos. En general los suelos son bien drenados, de escurrimiento moderado y pendientes dominantes del 1 %. El contenido de materia orgánica dentro de los 25 cm. superiores es moderado. Estos suelos contienen material originario calcáreo en superficie o a partir de los 50 cm.



**Figura 1: Ubicación del área de estudio y detalle del lote donde se llevan a cabo los experimentos.**

La región centro oeste de San Luis se caracteriza por poseer un clima semiárido, con lluvias de régimen monzónico cuyo promedio histórico anual (1903-1989) es de 587 mm. Durante ese periodo se ha registrado una tendencia creciente de las precipitaciones de 1.77 mm por año, lo que determina valores superiores al promedio histórico de 13.2 % e incrementos en las estaciones de primavera-verano y otoño (Echeverría y Kall, 1990).

El periodo libre de heladas para el lapso 1968-1998 es de 189 días (temperatura medida a 1.5 mts. en abrigo meteorológico). La fecha media de primera helada es el 22 de abril  $\pm 20$  días y la fecha media de última helada es el 15 de octubre  $\pm 17$  días (Orta y Federighi, 1997).

Estudios recientes realizados en la Universidad Nacional de San Luis, reportan un periodo libre de heladas de 205 días, con una fecha extrema de heladas del 4 de abril con una probabilidad del 20 % de que ocurra antes del día 18 de abril y una fecha media (50 % de los años) el 3 de mayo (Orta, comunicación personal). No obstante lo anteriormente mencionado, el balance hídrico normal (últimos 30 años) es negativo durante todo el año, siendo unas de estas las principales causas que ha limitado la difusión de la soja de secano en la región. En consecuencia la producción de soja en secano, se deberán extremar la aplicación de prácticas de manejo que mejoren la eficiencia de captación, conservación y uso del agua.

El sitio experimental presenta, una morfología regional con sub-región de planicies loessicas, y lo que hace a la morfología regional un área suavemente ondulada a ondulada. El relieve es de tipo normal ondulado, estando a media loma con pendientes del 1.5 %. El suelo que presenta es un Haplustol entico, franco grueso, mixta, térmica; presentando así un escurrimiento rápido, erosión moderada y bien drenado. (Peña Zubiate, 2000).

En lo que refiere al perfil del suelo (lugar del ensayo), posee cuatro horizontes, estando en primer lugar un Ap, que va hasta los 7 cm. teniendo un límite abrupto con el horizonte Ad, que va desde los 7 cm. a los 25 cm. Seguido por el horizonte AC, que va desde los 25 cm. a los 35 cm. con un límite abrupto con el horizonte anterior; y mayor a los 35 cm. se ubica el horizonte Ck. Se pudo observar con un cuchillo una vez abierta la calicata, la presencia de una zona endurecida (piso de arado) a los 25 cm. de profundidad.

En la tabla 1 se pueden observar los datos analíticos de la serie más cercana al lugar del ensayo.

Las variables climáticas básicas del año fueron obtenidas en base a registros propios de precipitación.

**Tabla 1: Datos analíticos perfil típico de la serie El Portezuelo en proximidades al lugar del ensayo.**

Perfil	Ap	ACca	Cca
Profundidad de la muestra (cm.)	2-14	20-30	90-100
Materia orgánica (%)	2,3	1,0	0,7
Carbono orgánico (%)	1,32	0,63	0,41
Nitrógeno total (%)	0,14	0,06	0,04
Relación C/N	10	9	9
Arcilla (<2μ) (%)	10,07	10,05	11,15
Limo (2-20μ) (%)	13,03	14,61	13,10
Limo (2-50μ) (%)	29,44	34,56	30,72
Arena muy fina (50-100μ) (%)	38,77	38,72	43,55
Arena fina (100-250μ) (%)	16,49	12,94	10,17
Arena media (250-500μ) (%)	1,79	1,42	1,37
Arena gruesa (500-1000μ) (%)	2,33	1,44	1,9
Arena muy gruesa (1000-2000μ) (%)	1,11	0,87	1,14
Gravas (>2000μ) (%)			
CaCO <sub>3</sub> (%)	0,29	4,24	4,15
Equivalente de humedad (%)	15	14	14
pH en pasta	7,6	7,8	7,8
pH en H <sub>2</sub> O (1:2,5)	7,7	8,0	8,0
Cationes de intercambio (meq/100g)	Ca <sup>++</sup>	9,0	
	Mg <sup>++</sup>	1,8	
	Na <sup>+</sup>	0,01	0,04
	K <sup>+</sup>	2,0	1,7
H <sup>+</sup> cambio (meq/100g)	--		
Valor S. Suma de bases (meq/100g)	12,8		
Valor T CIC (meq/100g)	16,7	14,8	14,7
Saturación con bases S/T (%)	77		

*Fuente: Perfil de la serie El Portezuelo, Haplustol entico. Carta de suelos de la Republica Argentina, Hoja Villa Mercedes Provincia de San Luis.*

## **4.2 Ensayo experimental:**

Se planteó un diseño en bloques al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento. Se realizaron los cuatro bloques de 180 metros de largo por 14 metros de ancho, a una distancia entre hileras de 0.7 metros.

### **Tratamiento N°1:**

Siembra con cuchilla turbo, abresurco descompactador que consiste en un timón tipo azadón plano con alas; fertilizado con 60 Kg./ha fosfato diamónico (PDA) en línea de siembra a 5 cm mas profundo que la semilla (Figura 2).

### **Tratamiento N°2:**

Siembra con cuchilla turbo, sin abresurco descompactador, fertilizado con 60 Kg. /ha fosfato diamónico (PDA) en línea de siembra a 5 cm mas profundo que la semilla.

### **Tratamiento N°3:**

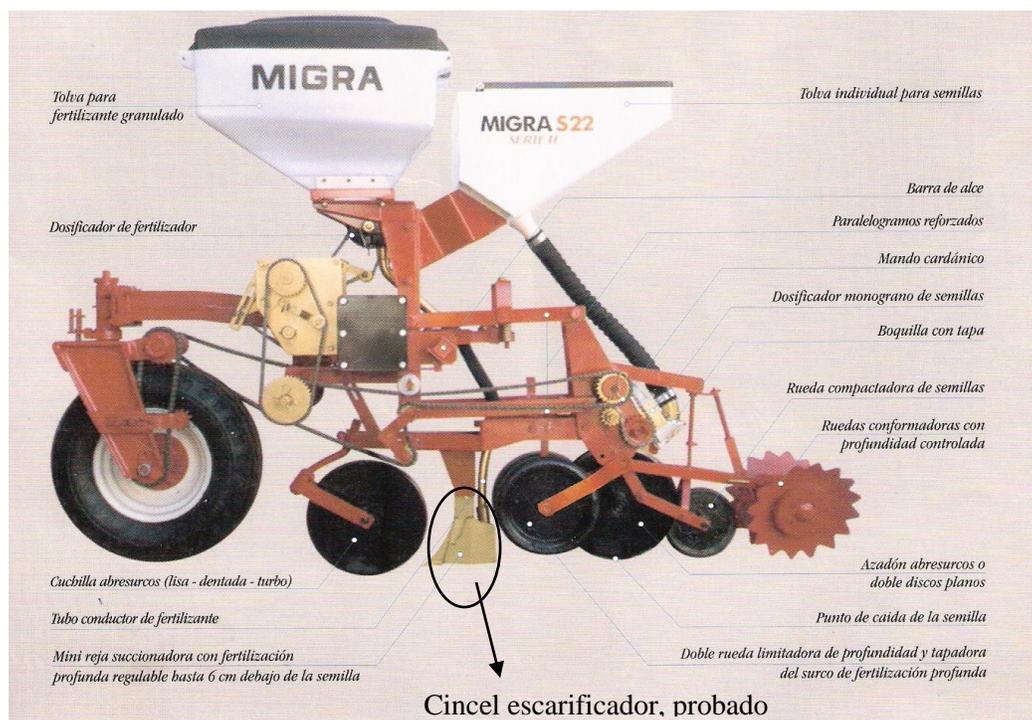
Siembra con cuchilla turbo, abresurco descompactador que consiste en un timón tipo azadón plano con alas; y sin fertilización.

### **Tratamiento N°4:**

Siembra con cuchilla turbo, sin abresurco descompactador y sin fertilización (testigo).

La siembra se llevo a cabo con una sembradora Migra S-22 (Mod. 2001) de 10 surcos espaciados a 0,70 m., con equipo fertilizador. Este equipo es arrastrado por un tractor John Deere 4420 (Mod. 1985) de 110 HP.

La maquina de siembra directa posee un tren de siembra conformado por una cuchilla tipo turbo, seguida por un dispositivo similar a un escarificador que esta compuesto por un azadón provista en su parte inferior de una mili ala en forma de V (que profundiza el surquito que labra la turbo), discos dobles que conforman la cama de siembra donde se deposita la semilla, rueda fijadora de la semilla y finalmente dos ruedas en forma de discos estrellados, para el cierre o tapado del surquito de siembra. El dispositivo descrito puede trabajar de 5 a 12 cm. de profundidad, para que al operar a esta ultima profundidad contribuya a disgregar las capas endurecidas del suelo y efectuar una fertilización profunda, tal como se aprecia en la Figura 2.



**Figura 2: Vista del tren de siembra de sembradora fertilizadora MIGRA S-22.**

Las pulverizaciones para control de malezas se realizaron con un pulverizador de arrastre marca Corti (Mod. 2003) con un ancho de labor de 18.5 metros y permite realizar aplicaciones variables tanto en caudal como en espectro de aplicación.

La cosecha se realizó por una cosechadora Don Roque 125 (Mod. 1998), con una plataforma maicera Mainero 8-70 con un ancho de corte de 5,6 metros.

El ensayo se llevó a cabo durante los ciclos 2007-2008, iniciándose la siembra el 20 de octubre de 2007, la fertilización se realizó (en los tratamientos fertilizados) en profundidad en línea de siembra con 60 Kg/ha. de fosfato diamónico, cuando llegó al estado fenológico V6, se refertilizó con 80 Kg./Ha. de urea perlada (solo en los tratamientos fertilizados).

En todos los tratamientos se realizó la siembra de un híbrido simple "DK 684 RR" de la firma Dekalb que ya viene curada con un insecticida, para el control de insectos de suelo con una protección sistémica hasta el estado fenológico V3.

El sistema de siembra fue de siembra directa, colocándose las semillas a 5 centímetros de profundidad en contacto con la humedad y a 20 centímetros entre semillas dentro de la misma línea de siembra.

Los tratamientos se realizaron en el mismo lote, el cultivo antecesor fue una pastura de Melilotus alba en labranza mínima durante la campaña agrícola del 2006/2007.

### **4.3 Determinaciones:**

#### **4.3.1 Análisis químico inicial:**

Se trabajaron las doce parcelas de 180 metros de largo por 14 mts. ancho correspondiendo cuatro muestras de 30 metros a estudiar por parcela, las que luego fueron comparadas mediante test *de LSD Fischer* ( $p < 0,05$ ) (Snedecor y Cochran, 1984) utilizando el programa INFOSTAT.

Se realizo un diagnostico de la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> (nitrógeno de nitratos), P (fósforo), niveles de ph y % de materia orgánica, por los siguientes métodos:

- Materia orgánica.....Método Walkley-Black, entre 0-20 cm. (Nelson y Sommer, 1982).
- N-Nitratos.....Reducción por cadmio, entre 0-20 cm. (Keeney y Nelson, 1982).
- Fósforo.....Método Kurtz y Bray 1, entre 0-20 cm. (Olsen y Sommer, 1982).
- pH.....Potenciometria 1:2,5, entre 0-20 cm. (Mc. Lean, 1998).

Para lo cual se realizo una toma de muestras al azar en el lugar donde se llevo a cabo el ensayo, se tuvo en cuenta de no mezclar las distintas posiciones de relieve, con lo que la extracción de submuestras tanto en línea de siembra como en la entre línea, se llevo a una muestra compuesta representativa del lugar.

#### **4.3.2 Densidad aparente:**

Se realizaron mediciones de densidad aparente entre 0 y 30 cm. por el método del cilindro (Klute y Dirksen, 1986), en la línea de siembra y en la entre línea, para evaluar el efecto del abresurco descompactador, con 3 repeticiones por tratamiento y por bloque, tanto en la línea como en la entre línea, en los 0-10 cm., 10-20 cm. y 20 y 30 cm. Con las mismas muestras extraídas para realizar densidad aparente, se sustrajo una submuestra para poder llevar a estufa 105 °C, para determinar el contenido hídrico del suelo en ese momento.

#### **4.3.3 Resistencia a la penetración:**

En el suelo se midió la resistencia del suelo a la penetración, mediante un penetrógrafo digital computarizado (Eijkelkamp, 1995), que pudo llegar hasta los 76 cm. en todas las situaciones, promediándolos luego cada 5 cm. Para llegar a los datos de resistencia, se procedió a realizar tres muestras

por tratamiento y por bloque, tanto en la línea de siembra como en la entre línea. Se evaluó el grado de Resistencia a la Penetración Relativa, teniendo como referencia el de mayor resistencia.

Las mediciones de las variables de suelo como de las de producción se llevaron a cabo el día 13 de Mayo de 2008. Midiéndose manualmente con una cinta métrica de treinta metros la uniformidad espacial observando la distancia entre plantas, posterior a ello se podrá determinar la densidad de plantas/ha; también se obtendrán los datos de las alturas medias de cada muestra.

#### **4.3.4 Determinaciones en el cultivo:**

El rendimiento final, se obtuvo del peso final de lo cosechado en la parcela, dividido a la superficie de la parcela, para cada uno de los tratamientos.

Para la determinación tanto de los componentes directos como de los indirectos, se procedió a realizar tres muestras, de tres metros cada una, por cada tratamiento. Mediante la utilización de una cinta métrica se pudo efectuar las mediciones de distancia entre plantas y la altura de las mismas. En el mismo momento se extrajo las espigas de los tres metros, una vez ordenadas por tratamientos se las fotografió para tener una mayor apreciación de las mismas, aunque cualitativa, del tamaño de las mismas en los distintos tratamientos. Posterior a ello, se desgranaron las espigas para poder así determinar el peso de los mil granos, peso de la espiga y la relación grano: marlo.

En la misma unidad de muestreo, se realizó la extracción de una planta entera al azar, para así observar el volumen de la masa radicular, y poder comparar entre los tratamientos.

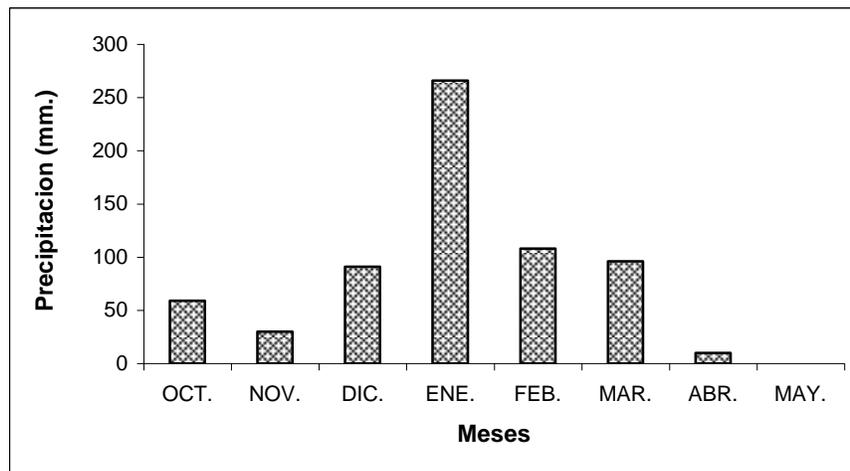
En el lugar del ensayo, se pudo observar, una leve ondulación en las tres repeticiones realizadas, pudiéndose observar en la figura 1 un relieve más bien plano. Este desnivel entre bloques, da origen a diferencias en el rendimiento producto del relieve del lugar; posicionándose el bloque 1 en la parte mas alta, el bloque 3 mas en la media loma y el bloque 2 ubicado mas en una posición de bajo.

### **CAPITULO V. RESULTADOS:**

#### **5.1 CLIMA DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO:**

En la figura 3 se puede observar la distribución mensual de precipitaciones en el ciclo del cultivo. Lo cual se ve claramente que enero y febrero representan los meses con mayores precipitaciones, coincidiendo con el periodo de llenados de granos.

En los siete meses en que se analizaron las lluvias, se acumularon 660 mm., considerándose un año normal de precipitaciones en lo respecta al ciclo del cultivo, coincidiendo con la media anual de los meses analizados (672 mm.). Siendo importante esta variable, ya que para trabajos de investigación, como el realizado, sufren distorsiones importantes en años anormales de precipitación. Las variables de suelo como la densidad aparente y la resistencia a la penetración, son alguna de ellas en que se correlacionan directamente con el contenido hídrico del suelo, producto de las precipitaciones en todo el ciclo del cultivo. Teniendo en cuenta que en condiciones ideales el maíz, refiere valores de 18 kg de grano/mm EVP aproximadamente de eficiencia de uso del agua, pudiéndose determinar que en base a los rendimientos medios obtenidos, el cultivo evapotranspiro unos 250 mm. Con lo que se puede decir, que es imposible resultar de valores tan bajos de EVP para condiciones, dentro del todo buenas, que se presentaron durante el ciclo del cultivo; con lo cual se asocia plenamente a una muy baja EUA, producto de varios factores, entre ellos, una disminuida exploración radical producto de la presencia de un piso de arado a los 25 cm. A pesar que las precipitaciones no fueron escasas durante el ciclo, pensando que el rendimiento podría estar limitado por la escasa densidad de plantas. También asociado a que una distancia entre hileras de 70 cm, demanda de más tiempo para llegar al IAF crítico, que en distanciamientos menores, resultando de una mayor evaporación de agua por parte del suelo, correspondiéndose a una perdida de agua no traducida en grano.



**Figura 3: Distribución de las precipitaciones (ciclo 2007-2008), durante los meses del ensayo.**

## 5.2 CARACTERIZACION INICIAL DEL SUELO:

Los análisis de suelos, representados en la tabla 2, que expresan el % de Materia Orgánica, ppm de Nitrógeno de Nitratos, ppm de Nitratos totales, ppm de Fósforo y el Ph. Tanto los niveles de fósforo como de nitratos y los de pH son representativos de la zona en cuestión, debido a que esta zona presenta suelos calcáreos, resultando así valores altos de pH y asociado a esto la escasa disponibilidad del fósforo para que pueda ser absorbido por las plantas, debido a que hay una gran proporción en forma insoluble por formación de complejos, principalmente con el Ion  $Ca^{++}$ . Los valores de nitratos son bajos debido en parte a la baja materia orgánica que tienen y a valores bajos de humedad en el suelo que infieren en los resultados del análisis del suelo.

Con respecto a la materia orgánica, se considera que los niveles están por debajo de lo que refiere a la zona en cuestión, quizás por estar asociado a un escaso aporte de residuos en parte por un intenso pastoreo y al tratarse de que el cultivo antecesor fue una leguminosa, lo cual tienen una baja relación carbono nitrógeno, y de que fue realizada con labranza mínima.

**Tabla 2: Resultados del análisis de suelo, en el lugar del ensayo.**

MATERIA ORGANICA	%	1,47
NITROGENO DE NITRATOS	Ppm.	4,7
NITRATOS	Ppm.	20,82
FOSFORO	Ppm.	5,5
PH		8,35

El maíz necesita unos 22 kg de Nitrógeno y unos 4 kg de Fósforo para producir una tonelada. Estos requerimientos son más bajos que los necesarios para el ciclo de la soja y trigo, pero como la producción por hectárea de maíz supera ampliamente a la de esos cultivos, también aumenta su volumen de extracción a la hora de cosechar. Por lo tanto, la demanda total de nutrientes puede resultar igual o superior a las del trigo o la soja.

En lo que respecta a Nitrógeno se podría realizar un balance, en que las principales entradas son unos 12,3 kg de N /ha de N-NO<sub>3</sub>, unos 23,8 kg de N /ha de la MO, unos 9 kg de N /ha del Fosfato diamónico y unos 36,8 kg de N /ha de la Urea. Con lo que con esta disponibilidad de Nitrógeno cubriría los requerimientos para aproximadamente 37 qq de maíz por ha, coincidiendo así con los rendimientos logrados para aquellos tratamientos fertilizados.

En lo que refiere a fósforo, se podría inferir que los niveles de la zona están por debajo del nivel crítico, ya que se ha reportado respuesta en el rendimiento al agregado de fósforo en la siembra en maíz vs. sin fósforo (Gonzalez, comunicación personal).

Lo cual no se puede llegar a conclusiones certeras cual es nivel crítico de fósforo para estos suelos, sumado a esto las características particular para estos suelos. Por lo que la estrategia de fertilización con fósforo para estos suelos, se basaría en aplicar solo la dosis para los requerimientos del rendimiento buscado, y descartar por completo el uso de dosis de reposición con fósforo.

### 5.3 DENSIDAD APARENTE:

Los datos obtenidos en el experimento expresados en la tabla 3, expresan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), a profundidades mayores a 10 cm. en la línea, con y sin cincel. Interpretándose, que en aquellos tratamientos donde estuvo el cincel escarificador, contribuyo a un aumento de la densidad aparente, para las profundidades anteriormente citadas. No observándose así, efecto alguno, del cincel escarificador para profundidades de hasta 5 cm. (Figura 4). Por lo que se presume, que el ala en la punta del azadón, posee un diseño tal, que a profundidades mayores a 10 cm. tiene un efecto densificador en la zona donde trabaja.

**Tabla 3: Densidad aparente ( $T_n$  /m<sup>3</sup>) de aquellos tratamientos con y sin cincel, a diferentes profundidades en línea y entre línea, analizados estadísticamente para cada tratamiento a igual profundidad.**

	Profundidad					
	0-10 cm.		10-20 cm.		20-30 cm.	
	Línea	Entrelinea	Línea	Entrelinea	Línea	Entrelinea
Con cincel	1,19 a	1,28 a	1,33 a	1,25 a	1,19 a	1,15 a
Sin cincel	1,22 a	1,19 a	1,13 b	1,15 a	1,03 b	1,07 b

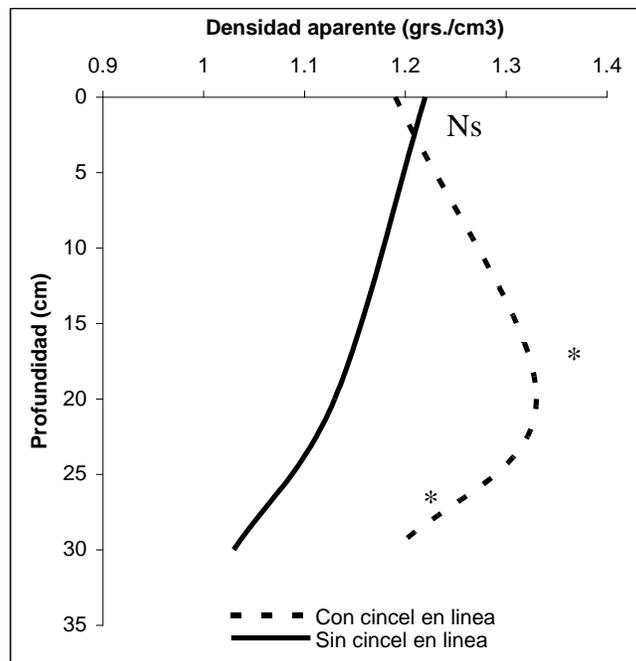
*Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según el test de LSD Fischer ( $p \leq 0,05$ ).*

En lo que refiere a la entre línea no se observaron efectos significativos ( $p \leq 0,05$ ) del cincel escarificador hasta los 20 cm. en la densidad aparente, pero si se observa claramente en la figura 4 que el tratamiento con cincel es superior para todas las profundidades; el no observarse cambios en la densidad aparente significativos ( $p \leq 0,05$ ), obedecería que el cincel escarificador no produce efecto, alguno.

Pero no así a profundidades mayores a 20 cm., donde se ve efecto del cincel, no pudiéndose explicar con claridad el resultado.

Chidichimo et al. (1997), encontraron que valores de densidad aparente entre 1,25 y 1,41 gr/cm<sup>3</sup> afectaron el crecimiento radicular en maíz, con respecto a un testigo con densidad aparente de 1,09 gr/cm<sup>3</sup>, con mayor longitud y peso de las raíces.

Daddow y Warrington (1983), encontraron que la germinación es más rápida con valores de densidad aparente de 1,2 gr/cm<sup>3</sup> o menores, estableciendo como umbral de crecimiento radical una densidad aparente de 1,65 gr/cm<sup>3</sup>.



**Figura 4: Densidad aparente a diferentes profundidades, para los tratamientos con cincel y sin cincel, solo en la línea.**

\*: Diferencia estadísticamente significativa según el test de LSD Fischer ( $p \leq 0,05$ ).

Ns: Diferencia estadísticamente no significativa.

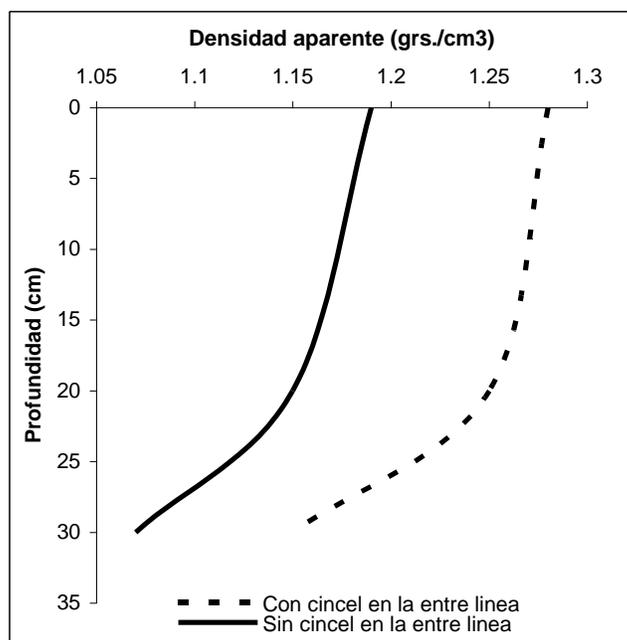
En la tabla 4 expresa los resultados del análisis estadístico, donde se comparan los valores de densidad aparente a una misma profundidad en aquellas medidas realizadas en la línea y entre línea, para tratamientos donde estuvo y no el cincel escarificador. Para profundidades de hasta 10 cm. no se observaron cambios en la densidad aparente para aquellos tratamientos donde estuvo el cincel y no, y tanto para la línea y entre línea.

**Tabla 4: Densidad aparente (Tn /m3) de aquellos tratamientos con y sin cincel, a diferentes profundidades en línea y entre línea, analizados estadísticamente para un tratamiento con respecto a línea o entre línea.**

	Profundidad					
	0-10 cm.		10-20 cm.		20-30 cm.	
	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea
Con cincel	1,19 a	1,28 a	1,33 a	1,25 b	1,19 a	1,15 a
Sin cincel	1,22 a	1,19 a	1,13 a	1,15 a	1,03 a	1,07 a

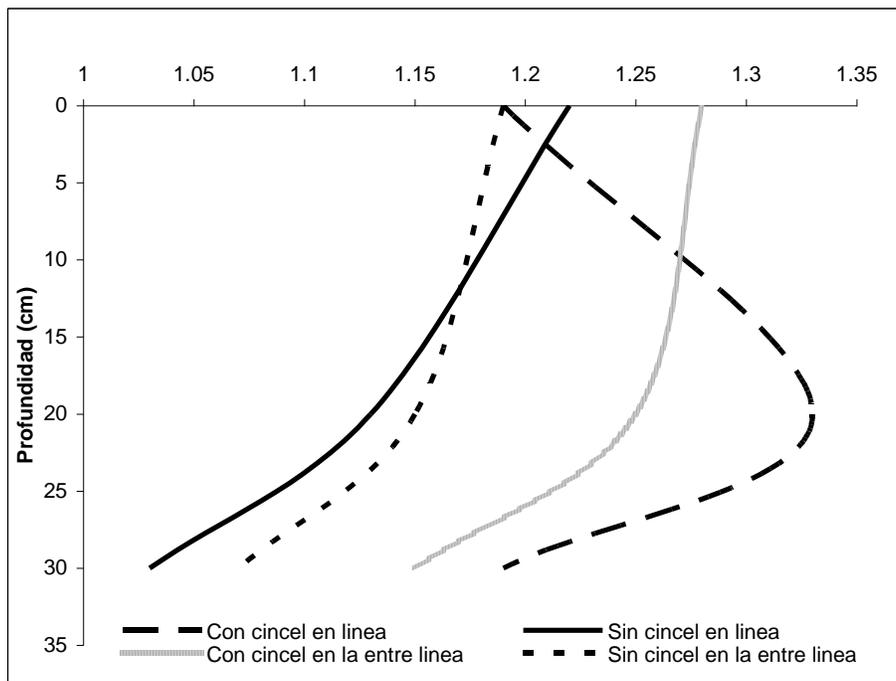
*Letras distintas en la misma fila (a la misma profundidad) indican diferencias estadísticamente significativas según el test de LSD Fischer ( $p <= 0,05$ ).*

En lo que respecta a la información entre los 10 y 20 cm. resulto en una diferencia estadística ( $p <= 0,05$ ) para el tratamiento con cincel escarificador, en donde se observo una mayor densidad aparente en la línea que en la entre línea, pudiéndose explicar, lo que anteriormente se cito en la tabla 3, referido al diseño particular del ala del azadón del cincel escarificador. No se debe perder de vista, que el efecto del cincel se aumentara si se disminuye la distancia entre hileras, es decir menor a 70 cm., viéndose menores diferencias con respecto a la línea y entre línea, tanto en la densidad aparente como en las otras variables de suelo medidas, como la resistencia a la penetración y la humedad.



**Figura 5: Densidad aparente a diferentes profundidades, para los tratamientos con cincel y sin cincel, solo en la entre línea.**

Claramente se observa en la Figura 5 que aquellos tratamientos con cincel escarificador, arrojaron mayor densidad aparente a todas las profundidades, que los tratamientos sin cincel escarificador, en la entre línea. Entrando en mas detalle se observa en la Figura 6, que a partir de los 12 cm de profundidad, se produce un quiebre de las curvas, tanto para los tratamientos con y sin cincel escarificador, y lo mismo para línea y entre línea. Por lo que se deduce ha primera vista, que es esa la profundidad a la que trabaja el cincel escarificador, pero en ningún momento llega a tener efecto en el piso de arado ubicado a los 25 cm. Para los tratamientos sin cincel escarificador, se observa una menor densidad aparente a todas las profundidades incluidas donde esta el piso de arado, pudiéndose relacionar con una mejor distribución del agua infiltrada, producto de un menor disturbio; sino que también, se asemejan mas las curvas de la línea y entre línea.



**Figura 6: Densidad aparente a diferentes profundidades para los tratamientos con y sin cincel, tanto en línea como en la entre línea.**

El fertilizante aporta nutrientes a la solución del suelo, que posteriormente serán absorbidos por las raíces de las especies presentes en el mismo, pudiéndose decir que produce cambios o que tiene algún efecto sobre la condición química del suelo. En la tabla 5 se observa el análisis estadístico de aquellos tratamientos con y sin fertilizante, comparados en la línea y la entre línea a una misma profundidad; concluyéndose que se produce un cambio significativo ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos con y sin

fertilizante en la entre línea, en los 10 a 20 cm. de profundidad. No observándose ninguna diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) para profundidades de hasta 10 cm. y entre los 20 y 30 cm.

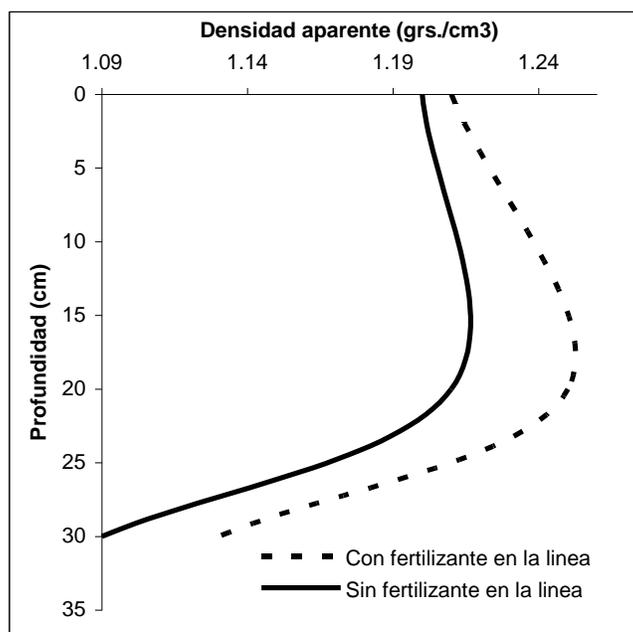
Los cambios no son significativos ( $p \leq 0,05$ ) en general, por lo que se puede decir que la fertilización no influye en la densidad aparente.

**Tabla 5: Densidad aparente (Tn /m<sup>3</sup>) de aquellos tratamientos fertilizados y sin fertilizar, a diferentes profundidades en línea y entre línea, analizados estadísticamente para cada tratamiento a igual profundidad.**

	Profundidad					
	0-10 cm.		10-20 cm.		20-30 cm.	
	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea
Con fertilizante	1,21 a	1,27 a	1,25 a	1,26 a	1,13 a	1,11 a
Sin fertilizante	1,20 a	1,20 a	1,21 a	1,14 b	1,09 a	1,10 a

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según el test de LSD Fischer ( $p \leq 0,05$ ).*

En la figura 7 se deduce que todos los tratamientos fertilizados en la línea, poseen mayor densidad aparente, que aquellos no fertilizados, no pudiéndose explicar con claridad estos resultados.



**Figura 7: Densidad aparente a diferentes profundidades, para los tratamientos fertilizados y no fertilizados, solo en la línea.**

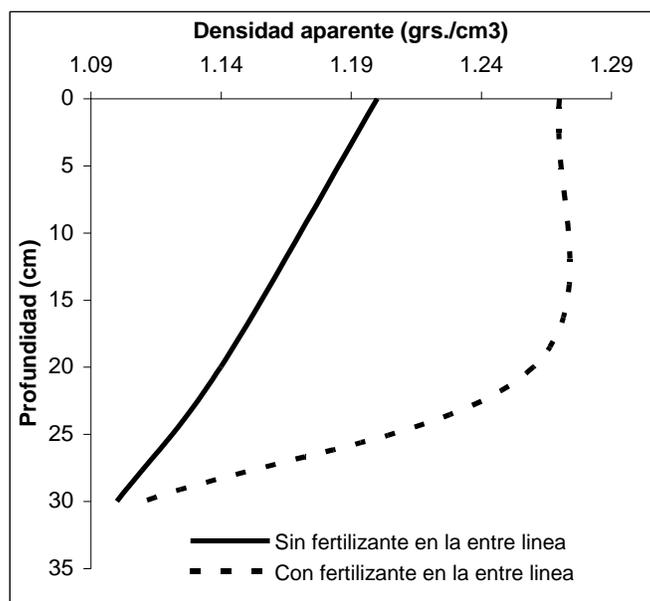
Según Arshad et al, (1996) en relación a la textura de estos suelos, la densidad aparente que podrían afectar el crecimiento radicular (entre 1,63 y 1,69 Mg/m<sup>3</sup>). En su análisis, el autor, indica que los suelos de textura gruesa, requieren compactaciones más elevadas que otros tipos de suelo para restringir el movimiento de aire y agua e inhibir el crecimiento radicular, por su mayor espacio entre partículas.

**Tabla 6: Densidad aparente (Tn /m3) de aquellos tratamientos fertilizados y sin fertilizar, a diferentes profundidades en línea y entre línea, analizados estadísticamente para un tratamiento con respecto a línea o entre línea.**

	Profundidad					
	0-10 cm.		10-20 cm.		20-30 cm.	
	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea
Con fertilizante	1,21 a	1,27 a	1,25 a	1,26 a	1,13 a	1,11 a
Sin fertilizante	1,20 a	1,20 a	1,21 a	1,14 a	1,09 a	1,10 a

*Letras distintas en la misma fila (a la misma profundidad) indican diferencias estadísticamente significativas según el test de LSD Fischer ( $p \leq 0,05$ ).*

En lo que refiere a la tabla 6 no se observan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en la densidad aparente para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar; siendo que tanto en la figura 7 como en la 8, se observa que los tratamientos fertilizados presentaron mayor densidad aparente, aunque no significativa ( $p \leq 0,05$ ), lo cual confirma la baja incidencia de la técnica sobre la densidad aparente.



**Figura 8: Densidad aparente a diferentes profundidades, para los tratamientos fertilizados y sin fertilizar, solo en la entre línea.**

#### 5.4 RESISTENCIA A LA PENETRACION:

En la tabla 7 se muestran para la misma profundidad las diferencias estadística en la línea y entre línea, observándose que se encontró diferencia significativamente ( $p \leq 0,05$ ) para los tratamientos cincel sin fertilizante y sin cincel fertilizante, sobre la línea y entre línea. Entre los 10 y 20 cm de profundidad se encontraron diferencias en la resistencia a la penetración, asociado a una menor redistribucion del agua infiltrada por debajo de la zona trabajada por el cincel escarificador, para el tratamiento cincel sin fertilizante.

Para el tratamiento sin cincel sin fertilizante, se encontró diferencia solo en los primeros 5 cm de profundidad, debido a que la cuchilla turbo trabaja a esa profundidad, y puede ejercer una mínima fuerza axial sobre el área trabajada, originando una microzona mas compactada, resultando de estas diferencias en la línea y entre línea. Para ambos tratamientos, en los casos donde hubo diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ), siempre fue mayor la resistencia a la penetración en la entre línea que en la línea.

Tal como lo expresan (Camp y Gill, 1969; Williams y Shaykewich, 1970; Larson *et al.*, 1980; Ayers y Bowen, 1987) la humedad del suelo afecta a los tres factores del suelo que determinan la resistencia a la penetración: cohesividad, ángulo de fricción interna y compresibilidad. Como resultado de todos estos efectos, los valores mínimos de resistencia a la penetración ocurren cuando el suelo tiene los máximos contenidos de humedad, considerándose que el promedio de los tratamientos les falta el 3.72 % de su peso en agua, para que llegase a los contenidos de capacidad campo. A medida que el suelo se seca, la resistencia a la penetración aumenta exponencialmente hasta alcanzar un valor máximo que ocurre en niveles de humedad del orden de 1 a 3 % en peso. La relación entre resistencia a la penetración y contenido de agua es afectada por el estado estructural del suelo, y constituye una herramienta potencialmente muy buena para el diagnóstico de la condición física de un suelo (Martino, 1998).

Gerard *et al.* (1982) determinaron que el valor crítico de resistencia a la penetración decrecía a medida que el contenido de arcilla del suelo aumentaba, mientras que lo opuesto fue reportado por Vepraskas y Wagger (1989). Ello sugiere que la relación entre contenido de arcilla y resistencia a la penetración crítica no es causal, y que algún otro factor asociado al contenido de arcilla, como por ejemplo la distribución de tamaño de poros, es la variable fundamental que determina las variaciones en la resistencia a la penetración crítica. Si el suelo presenta un sistema continuado de poros de gran tamaño, el crecimiento ocurre aun si la resistencia a la penetración es alta. Esta podría ser la razón por la cual los valores críticos de resistencia a la penetración parecen ser mayores cerca de la superficie que en horizontes inferiores del suelo (Gerard *et al.*, 1982; Grimes *et al.*, 1975; Vepraskas y Wagger, 1989).

**Tabla 7: Resistencia a la penetración (Mpa), a diferentes profundidades en línea y entre línea, analizados estadísticamente para un tratamiento con respecto a línea o entre línea.**

	Profundidad									
	0-5 cm.		5-10 cm.		10-15 cm.		15-20 cm.		20-25 cm.	
	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea
Cinzel Fertilizado	0,12 a	0,65 a	0,56 a	1,26 a	1,79 a	2,24 a	2,09 a	1,93 a	1,56 a	1,58 a
Cinzel Sin fertilizante	0,05 a	1,01 a	1,20 a	1,64 a	1,71 b	2,67 a	1,44 b	1,98 a	1,24 a	1,57 a
Sin cinzel Fertilizado	0,37 a	0,91 a	1,59 a	1,68 a	2,35 a	2,44 a	1,96 a	2,02 a	1,55 a	1,36 a
Sin cinzel Sin fertilizante	0,15 b	0,72 a	0,80 a	1,35 a	2,03 a	2,70 a	2,71 a	2,21 a	1,80 a	1,40 a

*Letras distintas en la misma fila (a la misma profundidad) indican diferencias estadísticamente significativas según el test de LSD Fischer ( $p <= 0,05$ ).*

El tratamiento sin cinzel sin fertilizante arroja diferencias estadísticas ( $p <= 0,05$ ) en línea y entre línea, siendo mayor esta última a los 5 cm., pudiendo estar explicado, por la labranza que realiza en la línea en el tren de siembra la cuchilla turbo, ya que esta penetra una profundidad similar a la que se hace referencia. Los tratamientos restantes no arrojaron diferencia significativa ( $p <= 0,05$ ) en línea y entre línea para los 5 cm., aunque coincide que en la entre línea posee mayor resistencia a la penetración, aun para los cuatro tratamientos. Para los 5-10 cm. tampoco se encontró diferencia significativa ( $p <= 0,05$ ) en línea y entre línea para ninguno de los tratamientos; si se encontró diferencia significativa ( $p <= 0,05$ ) a favor de la entre línea, en el tratamiento cinzel sin fertilizante a los 10-15 cm. que es la profundidad en la cual trabaja el cinzel escarificador aproximadamente. El mismo tratamiento se comportó de manera similar entre 15 y 20 cm. de profundidad no encontrándose diferencia significativa ( $p <= 0,05$ ) para el resto de los tratamientos. Y para la profundidad entre 20 y 25 cm. no se observaron diferencias significativas ( $p <= 0,05$ ) en línea y entre línea para los cuatro tratamientos probados.

**Tabla 8: Resistencia a la penetración (Mpa) en la línea, a diferentes profundidades, analizados estadísticamente para cada tratamiento a igual profundidad.**

	Profundidad				
	0-5 cm.	5-10 cm.	10-15 cm.	15-20 cm.	20-25 cm.
Cinzel Fertilizado	0,12 b	0,56 b	1,79 ab	2,09 b	1,56 b
Cinzel Sin fertilizante	0,05 b	1,20 ab	1,71 b	1,44 b	1,24 b
Sin cinzel Fertilizado	0,37 a	1,59 a	2,35 a	1,96 b	1,55 b
Sin cinzel Sin fertilizante	0,15 b	0,80 b	2,03 ab	2,71 b	1,80 b

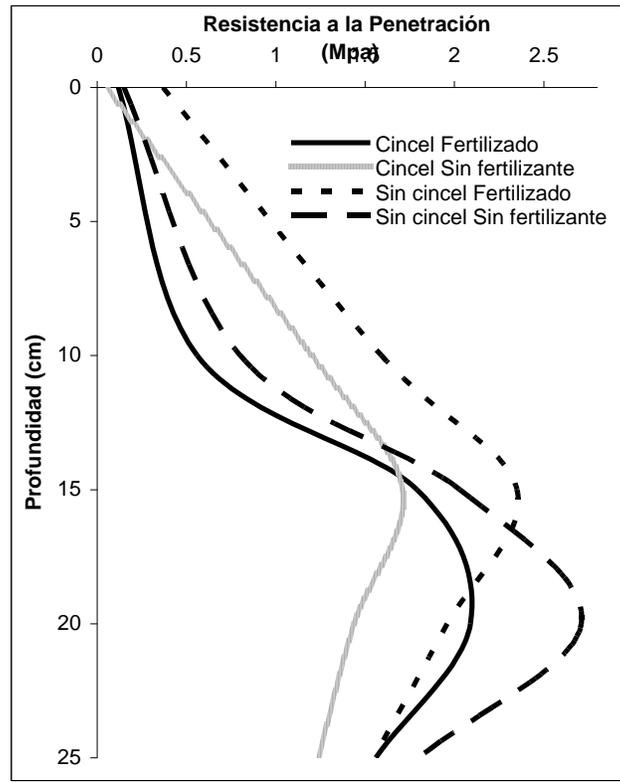
*Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según el test de LSD Fischer ( $p \leq 0,05$ ).*

En lo que refiere a la tabla 8, muestra los valores de medias estadísticas de resistencia a la penetración en la línea para una profundidad estudiada (figura 8); así podemos observar que el tratamiento sin cinzel fertilizado mostró diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) con el resto de los tratamientos, siendo este el valor mas alto de resistencia a la penetración, para los primeros 5 cm., seguido por el tratamiento sin cinzel sin fertilizante con diferencia no significativa ( $p \leq 0,05$ ). Pudiéndose relacionar los resultados, con las conclusiones que se llego en la tabla 6, donde el efecto del tratamiento sin cinzel, produce una menor labranza en la línea, versus con cinzel escarificador.

Entre los 5 y 10 cm. se observa que el tratamiento sin cinzel fertilizado, resulta de valores mas altos al resto de los tratamientos de manera significativa ( $p \leq 0,05$ ), estando en segundo lugar el tratamiento cinzel sin fertilizante significativamente ( $p \leq 0,05$ ); pero el tratamiento con menores resistencia a la penetración, se da en el tratamiento cinzel fertilizado, no significativo ( $p \leq 0,05$ ), seguido por sin cinzel sin fertilizante, no significativo ( $p \leq 0,05$ ), ya que para este ultimo, no se encuentra una explicación adecuada para justificar los datos obtenidos; pudiendo considerar aquellos tratamientos sin cinzel, los valores mas altos de resistencia a la penetración por lo ya antes comentado.

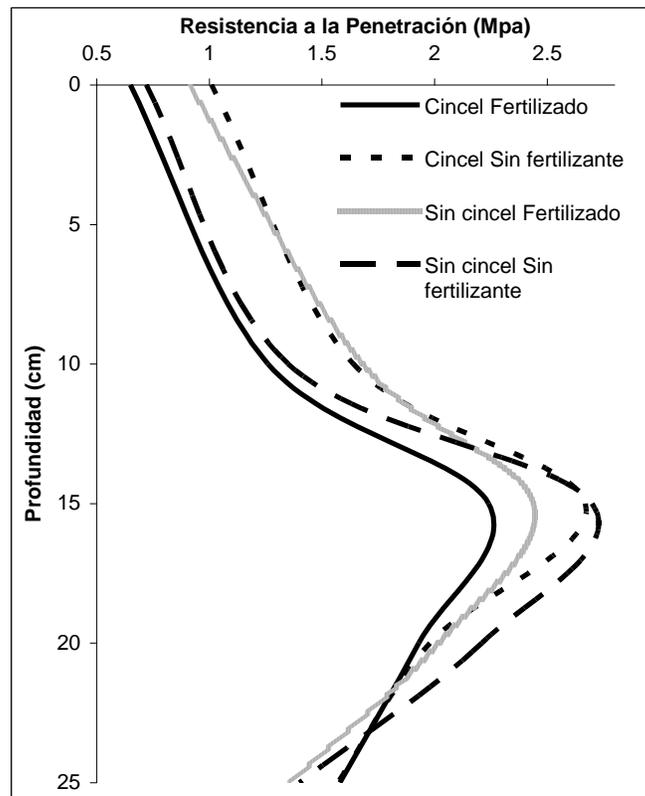
Siguiendo el análisis, entre los 10 y 15 cm. se ubica en segundo lugar el tratamiento sin cinzel sin fertilizante y tercer lugar el tratamiento cinzel fertilizado; en este ultimo tratamiento, el ensayo resulta de iguales resistencias a la penetración con el de sin cinzel sin fertilizante significativamente ( $p \leq 0,05$ ).

Tanto en las profundidades 15-20 cm. y 20-25 cm. no se detectan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre tratamientos, aunque justifica en parte que en los tratamientos con cinzel, tuvieron menor resistencia a la penetración aunque sin diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ), para ambas profundidades.



**Figura 9: Resistencia a la penetración a diferentes profundidades, para los cuatro tratamientos, solo en la línea.**

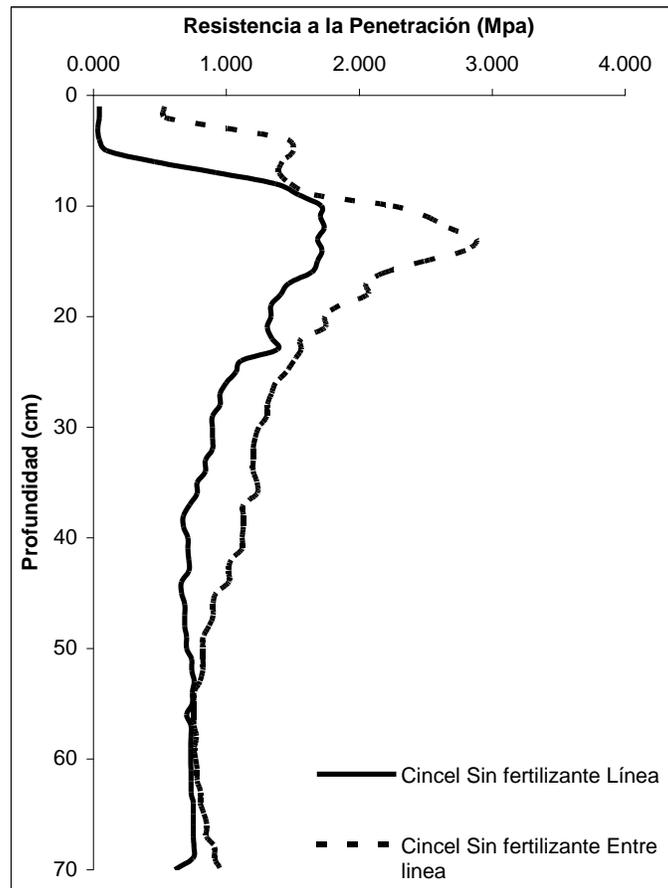
Para los 10 a 15 cm. de profundidad, sucede algo parecido que entre los 0-5 cm. y 5-10 cm. para el tratamiento sin cincel fertilizado, donde resulta de los valores mas altos, viéndose claramente en la figura 9.



**Figura 10: Resistencia a la penetración a diferentes profundidades, para los cuatro tratamientos, solo en la entre línea.**

Lo cual se puede ver a simple vista una curva para todos los tratamientos entre los 10 y 20 cm., representando estos datos, el piso de arado presente en las profundidades ya citadas.

Tanto en las figuras 11, 12, 13 y 14 se pueden observar el perfil de resistencia a la penetración hasta los 70 cm., para cada uno de los tratamientos en línea y entre línea. A simple vista se ve en el tratamiento cincel sin fertilizar (figura 11) arrojo valores inferiores a resistencia la penetración, en comparación al resto de los otros tres tratamientos, independientes de si se trate en línea o entre línea. Inclusive valores de resistencia a la penetración por debajo del nivel crítico considerado (2 Mpa.), en lo que refiere a la línea.



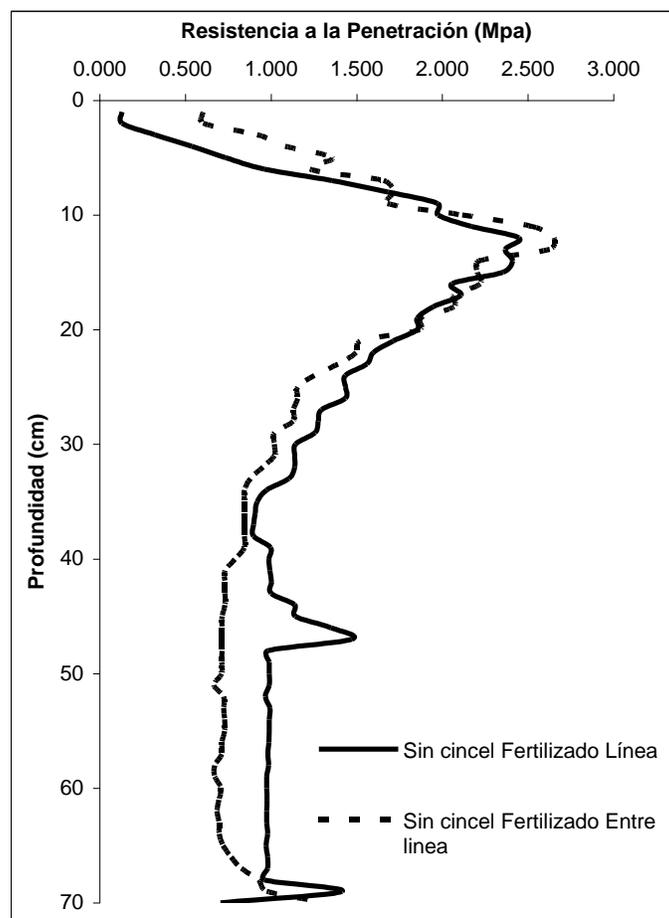
**Figura 11: Resistencia a la penetración hasta los 70 cm. de profundidad, para el tratamiento con cincel escarificador y sin fertilizante, tanto en la línea como en la entre línea.**

En lo que refiere a la figura 10, no hay que perder de vista los bajos valores que se registran en la línea vs. entre línea, en comparación al resto de las figuras, asociadas quizás a una mayor infiltración de agua y a una mayor exploración radical (foto 1) producto de la mejora de las propiedades físicas del suelo que le da el cincel escarificador en la línea de siembra.

No observándose las mismas diferencias para las figuras 12, 13 y 14, en lo que respecta a diferencias en línea vs. entre línea.

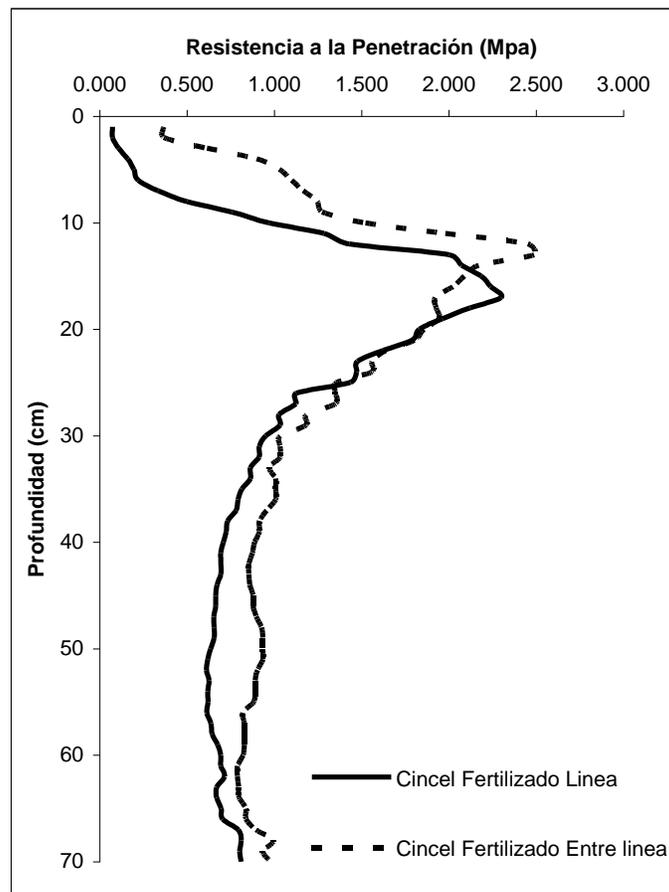
En la figura 14 se ve que es el tratamiento que alcanza a los mayores valores de resistencia a la penetración, si se compara con el tratamiento cincel sin fertilizante (figura 11) que resulta de menores valores de resistencia a la penetración, y que solo se diferencian en que uno estuvo presente el cincel escarificador y el otro no.

También se observa algo parecido en los tratamientos con cincel, en donde aquellos tratamientos fertilizados arrojaron mayores valores máximos de resistencia a la penetración, en comparación a los no fertilizados.



**Figura 12:** Resistencia a la penetración hasta los 70 cm. de profundidad, para el tratamiento sin cincel escarificador y fertilizado, tanto en la línea como en la entre línea.

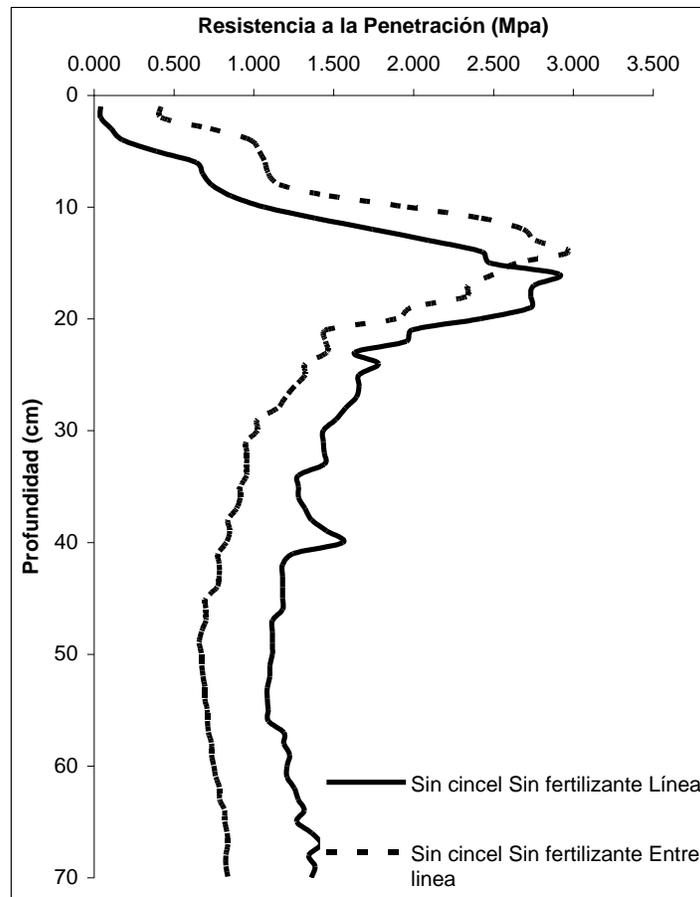
El la figura 12 y 14, tratamientos sin cincel escarificador a partir de los 30 cm. de profundidad se observa que la resistencia a la penetracion es mayor en línea de siembra, en comparación a la entre línea. Si se analiza los primeros 10 cm. de suelo, que es la profundidad a la que trabaja el cincel escarificador, existe una tendencia al aumento de diferencias de valores de resistencia a la penetracion, en línea vs. entre línea, a favor de los tratamientos sin cincel escarificador.



**Figura 13: Resistencia a la penetración hasta los 70 cm. de profundidad, para el tratamiento con cincel escarificador y fertilizado, tanto en la línea como en la entre línea.**

A los 10 cm. en la línea se puede observar que el tratamiento sin cincel fertilizado llega a valores críticos de resistencia a la penetración (2 Mpa.), seguido por el tratamiento sin cincel sin fertilizante y el tratamiento cincel fertilizado, que llega a partir de los 12 cm. a valores críticos; no llegando a estos valores para ninguna de las profundidades analizadas en el ensayo, en lo que refiere al tratamiento cincel sin fertilizante (figura 9).

Entre los 10 y 20 cm., se observan los picos de resistencia a la penetración para los cuatro tratamientos, en donde se ve que a los 12 cm. aproximadamente el tratamiento sin cincel fertilizado llega a su valor máximo, mientras que los tratamientos sin cincel sin fertilizante, cincel fertilizado y cincel sin fertilizar, lo hacen a los 17 cm., 18 cm. y 12 cm., respectivamente.



**Figura 14: Resistencia a la penetración hasta los 70 cm. de profundidad, para el tratamiento sin cincel escarificador y sin fertilizante, tanto en la línea como en la entre línea.**

También se pudo observar una diferencia en línea, en la cual no presente, como así lo fue en entre línea, una zona entre los 5 y 10 cm. de compactación.

Threadgill (1982), relacionó la resistencia a la penetración de un suelo con la capacidad de las raíces para colonizarlo. Indicó que valores de índice de cono de 1.5 Mpa pueden reducir el crecimiento de las raíces, mientras que valores superiores a 2.1 Mpa lo limitarían. La máxima presión que las raíces pueden ejercer es entre 0.7 y 1.3 Mpa en la dirección axial, y entre 0.4 y 0.6 Mpa en la dirección radial (Gill y Bolt 1955; Misra *et al.*, 1986).

Cazorla (2005), manifiesta que los valores de resistencia a la penetración siempre son mayores para siembra directa, pero no alcanzan valores medios superiores al límite crítico (2 Mpa) para el desarrollo de raíces. Si bien, el valor medio no es considerado como crítico, aparecen valores individuales que superan este límite, claramente observados en la figura 10, en donde solo el tratamiento cincel sin fertilizante, no supera el límite crítico (2 Mpa). No obstante para Hapludoles típicos del área central de Córdoba, Bonadeo (1997); Cisneros *et al.* (1997) y Cholaky (2003) encontraron valores de resistencia a la penetración muy superior a 2 Mpa, aun en sistemas de siembra directa.

Bono *et al.* (1993) encontraron en suelos con textura franco arenosa (Haplustoles) que el contenido de materia orgánica explica el componente diferencial de la resistencia mecánica ante iguales contenidos de humedad. Exceptuando el caso del Médano Vivo, lo determinado por estos autores podría explicar de alguna manera estos resultados.

## **5.5 HUMEDAD:**

En la tabla 9, compara los valores de humedad en línea y entrelinea para una misma profundidad. Pero para la totalidad de los resultados obtenidos, se imposibilita sacar conclusiones certeras, ya que no se dan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en línea y entrelinea para todos los tratamientos analizados. En parte se podría explicar, que las características propias del área donde se llevo a cabo el ensayo, presentan texturas arenoso franco, facilitando así el movimiento de agua, ocasionando distorsiones en los resultados de contenido hídrico en profundidad, al comparar efectos de labranza en el mismo.

**Tabla 9: Humedad (%) de los cuatro tratamientos, a diferentes profundidades en línea y entre línea.**

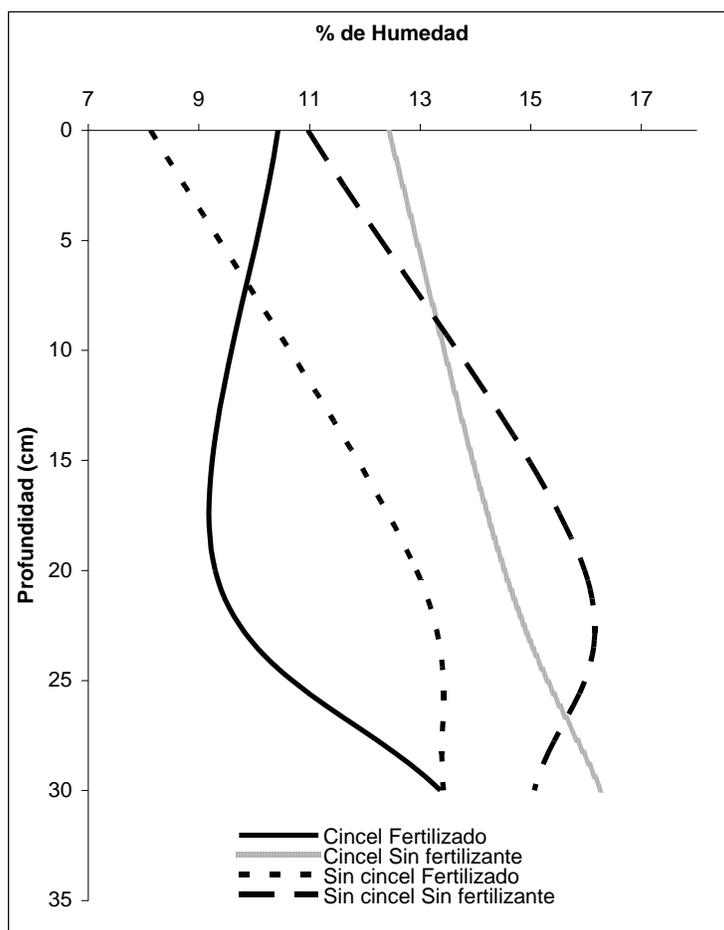
	Profundidad					
	0-10 cm.		10-20 cm.		20-30 cm.	
	Línea	Entre línea	Línea	Entre línea	línea	Entre línea
Cinzel Fertilizado	10,43 a	9,60 a	9,30 a	11,43 a	13,37 a	13,77 a
Cinzel Sin fertilizante	12,43 a	13,17 a	14,53 a	14,60 a	16,27 a	15,20 a
Sin cinzel Fertilizado	8,13 a	9,43 a	12,93 a	10,63 a	13,43 a	13,10 a
Sin cinzel Sin fertilizante	10,97 a	10,60 a	15,97 a	13,60 a	15,07 a	14,43 a

*Letras distintas en la misma fila (a la misma profundidad) indican diferencias estadísticamente significativas según el test de LSD Fischer ( $p <= 0,05$ ).*

Algunos autores (Braim *et al.*, 1984; Hipps y Hodgson, 1988) han encontrado que el uso del cinzel fue efectivo en reducir la incidencia de excesos de agua en climas húmedos. Otros (McConkey *et al.*, 1997) han resaltado las ventajas del uso del cinzel para capturar humedad en ambientes secos. Pikul *et al.* (1990) determinaron que un suelo con cinzel poseía mayor capacidad para almacenar agua durante el invierno que el mismo suelo indisturbado. Ellos también notaron que durante períodos de vientos secos y cálidos, la evaporación de agua desde el suelo también fue más alta para el cinzelado.

Considerando que los valores críticos de resistencia a la penetración son cercanos a los 2 Mpa., no se encuentra relación con la humedad del suelo, encontrándose que los tratamientos que presentan valores mayores de resistencia a la penetración, corresponden al tratamiento sin cinzel escarificador, presentando valores medios superiores de humedad con respecto a los tratamientos con cinzel escarificador.

Lo que podría haber un patrón parecido entre la humedad del suelo y la resistencia a la penetración, viéndose en la Figura 15, que ha medida que aumenta la humedad para todos los tratamientos tiende a disminuir la resistencia la penetración (Figura 9), para todos lo tratamientos. Entrando en mas detalle, en todos los tratamientos fertilizados, tuvieron para todas las profundidades menores humedad de suelo, correspondiéndose esto, a que fueron los tratamientos con mayor rendimiento (tabla 10), no existiendo relación alguna con la resistencia a la penetración.



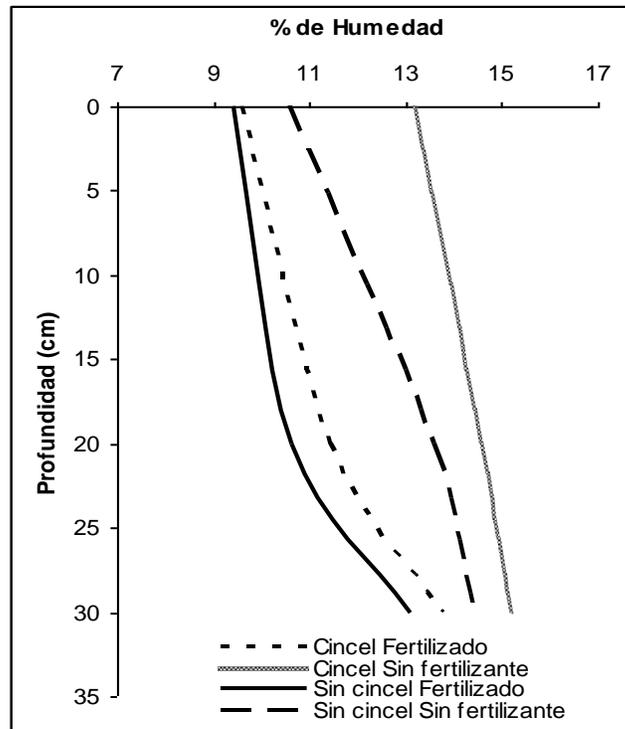
**Figura 15: Humedad (%) a diferentes profundidades, para los cuatro tratamientos, solo en la línea.**

En los tratamientos con cíncel escarificador presentaron los menores valores de humedad a los 20 cm de profundidad, correlacionándose, con la resistencia a la penetración, arrojando los menores valores para todas las profundidades.

Concluyéndose, que la resistencia a la penetración se correlaciona más con las propiedades físicas, como por ejemplo el % de agregados medios, que con la humedad del suelo propiamente dicha.

Según los datos de la carta de suelo (Peña Zubiarte et al. 2000), para los suelos de la zona de influencia del ensayo, arrojan valores del 15 % de humedad equivalente promedio del perfil, lo cual los tratamientos sin cíncel escarificador, presentaron valores superiores a capacidad campo, posterior a los 20 cm. de profundidad; no observándose los mismos valores para los tratamientos con cíncel escarificador. Coincidiendo, en que los tratamientos sin cíncel escarificador presentaron menor rendimiento, que los que

tuvieron cincel escarificador, por lo que no se puede concluir, si el cincel escarificador tiende o no a aumentar las pérdidas de agua del suelo.



**Figura 16: Humedad (%) a diferentes profundidades, para los cuatro tratamientos, solo en la entre línea.**

## 5.6. PRODUCCION Y COMPORTAMIENTO AGRONOMICO DEL CULTIVO:

Se pudieron apreciar diferencias con distinto nivel de significación estadística, para los distintos tratamientos y variables (tabla 10). Cabe agregar que las diferencias en las variables analizadas en el suelo, pueden o no ser traducidas en la biomasa de la planta, como lo son el, peso de la espiga, peso de mil granos, altura, relación grano: marlo, etc.; a su vez estas variables están interrelacionadas, ya que algunas forman parte de los componentes directos e indirectos del rendimiento.

**Tabla 10: Rendimiento, Densidad, Altura de plantas, Distancia entre plantas, Peso de espiga, Peso de mil granos y Relación grano: marlo.**

	Rendimiento (Kg. /ha.)	Densidad (plantas/ha.)	Altura de plantas (cm.)	Distancia entre plantas (cm.)	Peso de espiga (gramos)	Peso de mil granos (gramos)	Relación grano:marlo
Cincel Fertilizado	4553 a	39841 a	71,64 b	31,08 a	81,38 a	185,14 a	74,46 a
Cincel Sin fertilizante	4394 b	41213 a	59,18 c	34,71 a	68 a	175,60 a	72,90 ab
Sin cincel Fertilizado	3707 c	43643 a	88,74 a	33,28 a	64,75 a	161,13 b	72,28 b
Sin cincel Sin fertilizante	3882 d	45347 a	70,57 b	32,42 a	66,21 a	157,74 b	72,51 b

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según el test de LSD Fischer ( $p \leq 0,05$ ).*

Para que una planta pueda desarrollarse, desde el punto de vista del suelo, el mismo debe interactuar con la planta, proveyendo de agua, nutrientes, un flujo de aire y térmico que le permita un óptimo crecimiento radical y un espacio físico suficiente para que las raíces puedan crecer sin limitantes. En la figura 17 se muestra el efecto promedio de todos los tratamientos del cincel y del fertilizante sobre el testigo, mostrándose, que hay un efecto en el rendimiento mayor por parte del cincel, que el del fertilizante. Asociado a que hay prioridad en la exploración radical, por parte de la planta, pasaría a un segundo plano el aporte de los nutrientes.

Tanto en la tabla 10 como en la figura 18 se puede apreciar que el tratamiento cincel fertilizado lidera los resultados en el rendimiento, estando originado por los diferentes componentes que dan como producto al mismo; para el tratamiento citado coincide con la menor densidad de plantas de los cuatro tratamientos, aunque sin diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Este tratamiento también coincide aunque no significativamente ( $p \leq 0,05$ ) con el de mayor peso de espiga, pero significativamente ( $p \leq 0,05$ ) con el de mayor peso de mil granos, claramente vistos en la figura 23.

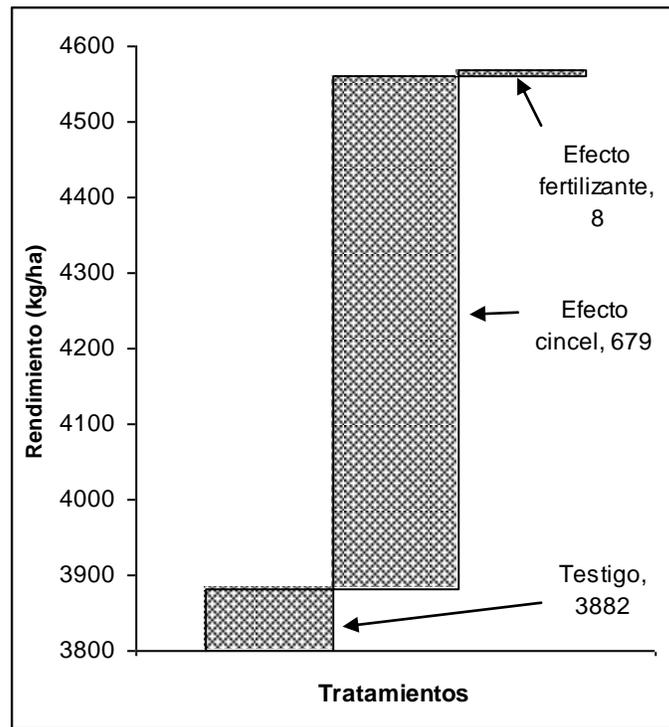


Figura 17: Efecto en el rendimiento del cincel y el fertilizante, sobre testigo.

En este tratamiento la menor densidad de plantas contribuiría a una tasa de crecimiento del cultivo superior al resto, originada en parte por la fertilización realizada, recordando que se aplicó 60 Kg. /ha de fosfato diamónico a la siembra y 80 Kg. /ha de urea en V6. Esta alta tasa de crecimiento permite una mayor traslocación de asimilados a los granos, reflejándose en un alto peso de mil semillas y la relación grano: marlo, siendo estas dos variables las más altas en comparación a los otros tratamientos significativamente ( $p < 0,05$ ). Esta compensación producida por el híbrido no fue la suficiente para que arrojara grandes diferencias en el rendimiento con el resto de los tratamientos, ahora hay que destacar que este tratamiento les brindaría un mejor vigor a las plantas, ocasionado o no por la disminución de la densidad, pero reflejados en los datos de altura en comparación al tratamiento cincel sin fertilizante.



**Foto 1: Raíces del tratamiento con cincel y sin fertilizar.**

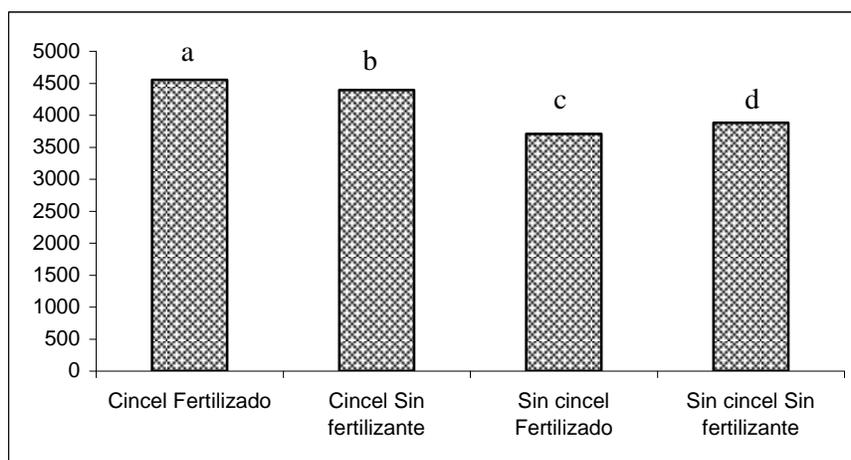


**Foto 2: Raíces del tratamiento con cincel y fertilizado.**

También pudiéndose comparar en las fotos 2 y 6, en donde puede inferir cualitativamente en la biomasa radical de cada tratamiento; observándose que en la foto 2, la raíz presenta el mayor desarrollo y a su vez la de mayor longitud, en comparación al resto, también con la mayor presencia de pelos radicales tanto en raíces primarias como en las secundarias. Estas cualidades son producto de los cambios producidos en las variables de suelo ya analizadas para cada tratamiento.

En la foto 3, se observa cualitativamente una menor cantidad de raíces secundarias, pudiendo estar relacionada con una menor exploración radical proveniente de una escasa labranza realizada por la cuchilla turbo.

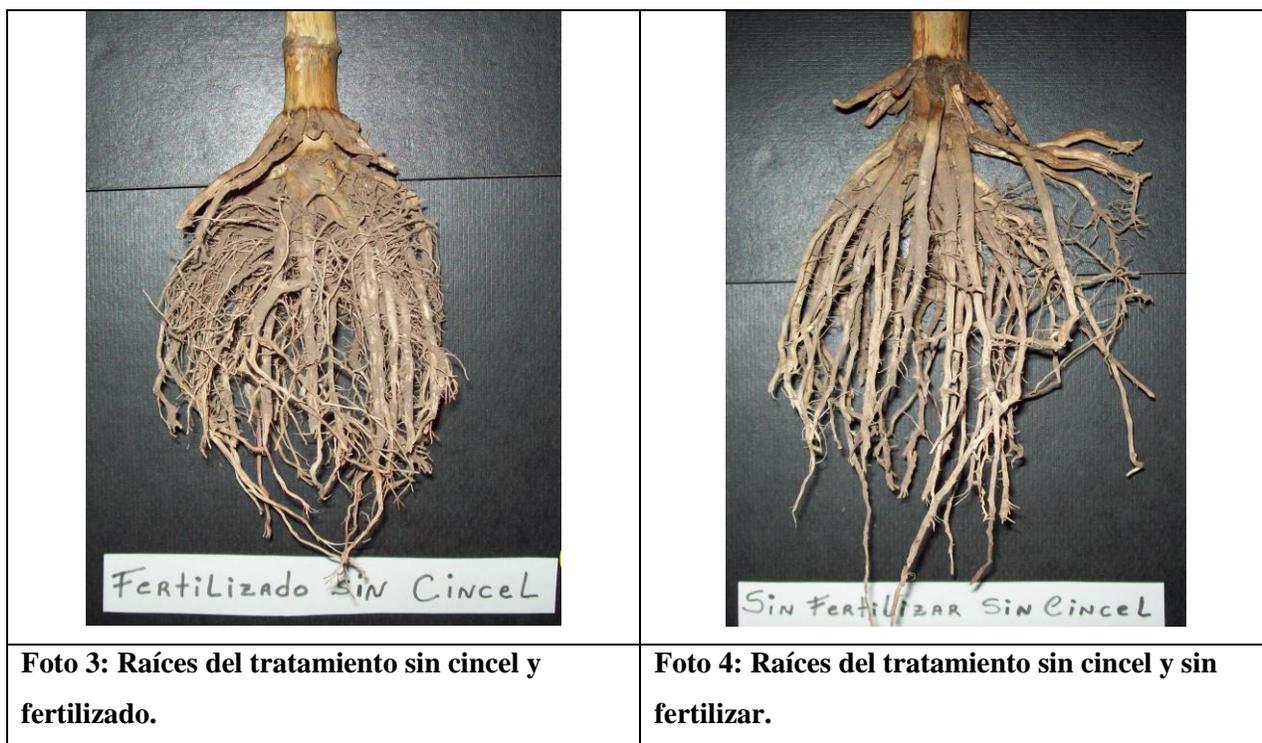
Este efecto fue también comprobado por Hipps y Hodgson (1988), y puede haber estado asociado con el hecho de que, como ya fue indicado previamente, el cincelado mejora la aireación del suelo y la infiltración de agua en el mismo, promoviendo eventualmente una mayor mineralización de la materia orgánica.



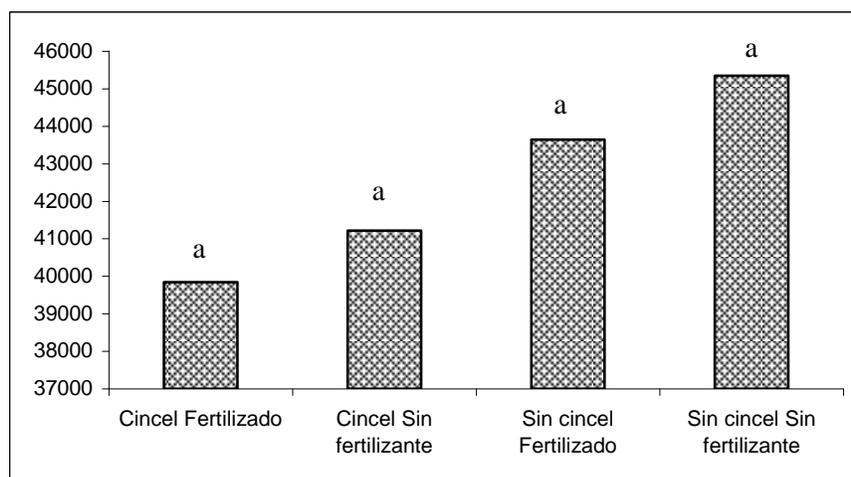
**Figura 18: Rendimiento (Kg. /ha.), para los cuatro tratamientos.**

Si tomamos los tratamientos con y sin cincel escarificador determinamos que los rendimientos medios fueron de 4400 y 3800 kg/ha, respectivamente. Lo que los requerimientos para alcanzar esos rendimientos son diferentes; si tomamos en cuenta los aportes por parte de fertilizante a la siembra (9 kg/ha de N), lo refertilizado (36,8 kg/ha de N) y la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> (12,2 kg/ha de N), podemos despejar el nitrógeno aportado por la mineralización de la Materia Orgánica, encontrando así, distintos resultados para aquellos tratamientos con y sin cincel escarificador; en los cual resulta de coeficientes de mineralización de 4,32 y 2,72, respectivamente. Se concluye así, que el cincel escarificador produce cambios en el coeficiente de mineralización.

Kruger *et al.* (2000), mostraron que el sistema de siembra directa tuvo menor nivel de N que en los tratamientos con labranza. Esta menor disponibilidad de N es uno de los factores relacionados con la baja producción inicial de biomasa en relación con sistemas con labranza. En forma general, el contenido de N inorgánico respondió a la disponibilidad de agua, la fertilidad nativa del suelo, y al sistema de labranza en ese orden. Otros estudios han mostrado menor provisión de N al cultivo durante los primeros años de siembra directa (Bergh *et al.* 1996; Falotico *et al.* 1999). Se mencionan como principales causas la reducción en la mineralización, y mayores tasas de inmovilización, desnitrificación y lavado.

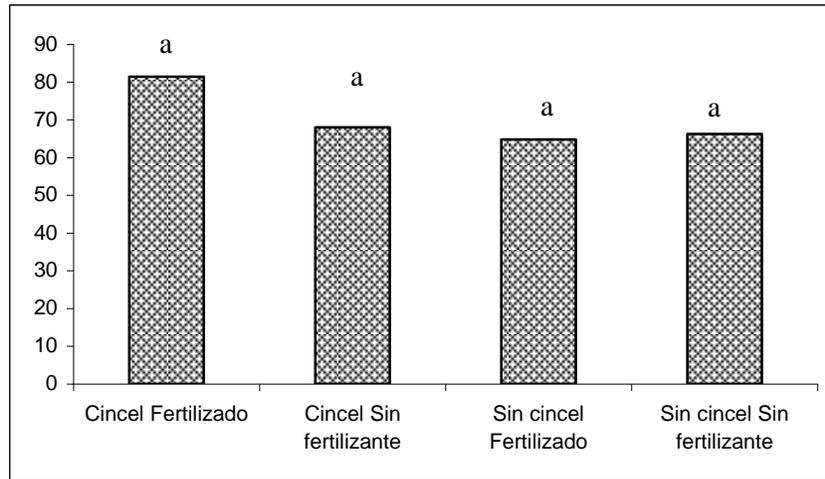


El tratamiento cincel sin fertilización arroja un 4,2 % menos de rendimiento, que el tratamiento fertilizado. Si se analizan los diferentes componentes del rendimiento, se observa una disminución del 16,4 % del peso de la espiga, hubo 3,4 % de aumento en la densidad, una caída de 5,1 % del peso de mil granos, con respecto al tratamiento con cincel fertilizado, ninguna significativamente ( $p \leq 0,05$ ), claramente observados en la tabla 10. Este aumento de la densidad no permite una tasa de crecimiento del cultivo igual al tratamiento cincel fertilizado, explicándose en parte por la caída del peso de mil granos y el peso de la espiga. No hay que dejar de lado, que este tratamiento no lleva fertilización y por más que el cincel escarificador tenga efecto en la mineralización no le alcanza para llegar a los valores de los tratamientos fertilizados, ubicándose este en el segundo lugar. El hecho de que el tratamiento cincel sin fertilizante tiene menor nivel de nutrientes que cincel fertilizado, y a su vez con una mayor densidad de plantas, explicaría el porque del valor mas bajo significativamente ( $p \leq 0,05$ ) de la altura, en comparación al resto de los tratamientos, claramente observados en la figura 21.



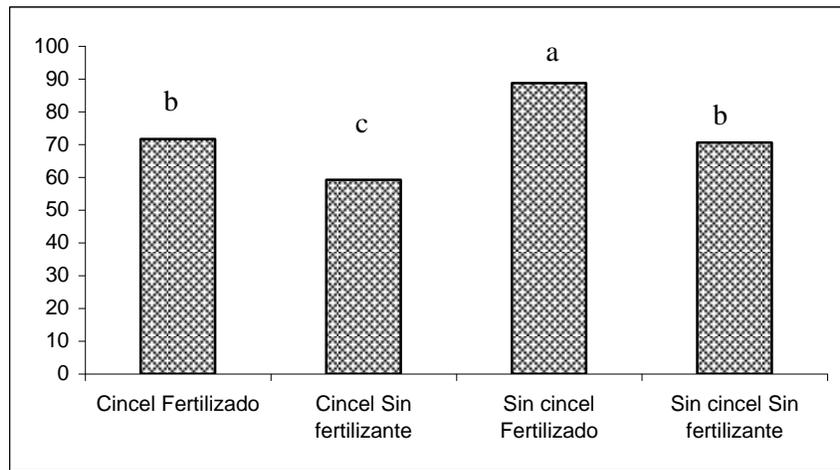
**Figura 19: Densidad de plantas (plantas/ha.), para los cuatro tratamientos.**

En el tratamiento sin cincel fertilizado tal como se ve en la tabla 10, resulto ser el de menor rendimiento, con una diferencia del 22,7 % con respecto al tratamiento cincel fertilizado, pero al presentar una mayor densidad poblacional y un nivel de nutrientes adecuado, ya que es un tratamiento fertilizado y a su vez esta asociado a un mayor coeficiente de mineralización por parte del cincel escarificador, explica en parte de que resulte el tratamiento de mayor altura con diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ). Pero a pesar de que el cultivo esta bien nutrido, la tasa de crecimiento del cultivo no supera al tratamiento con cincel fertilizado, viéndose que en el tratamiento sin cincel fertilizado presenta la relación grano: marlo mas baja, ( $p \leq 0,05$ ) (figura 24), y la de menor peso de espiga, aunque no significativa ( $p \leq 0,05$ ), en comparación al resto de los tratamientos. También hay que considerar que los tratamientos cincel, como anteriormente se cito, tiene un efecto en la mineralización y en el vigor de la plantas, encontrándose efectos del cincel escarificador ocultos en los diferentes componentes del rendimiento.



**Figura 20: Peso de la espiga promedio (grs.), para los cuatro tratamientos.**

El tratamiento sin cincel sin fertilizante (testigo), presenta un 18 % menos de rendimiento y con una altura igual estadísticamente con respecto al tratamiento cincel fertilizado. Es el tratamiento con mayor densidad y la de menor tasa de crecimiento del cultivo, con respecto al tratamiento cincel fertilizado, donde en este hay un aporte de nutrientes, vía fertilizante, y el efecto del cincel en la mineralización; que se observan en el tratamiento testigo, en las variables analizadas. La mayor competencia entre plantas con respecto al tratamiento cincel fertilizado, reduce la expansión foliar, tanto en el largo como en el ancho de las hojas, favoreciendo a que las plantas sean mas altas, en busca de luz. Esto puede explicar porque los datos de altura son igual estadísticamente entre los tratamientos cincel fertilizado y sin cincel fertilizado. Lógicamente, al presentar una menor concentración de fotoasimilados, la traslocación a grano se ve disminuida resultando a que sea el tratamiento con menor peso de mil granos significativamente ( $p < 0,05$ ), no observándose diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la relación grano: marlo y peso de espiga entre los tratamientos sin cincel fertilizado y sin cincel sin fertilizante (figura 20).

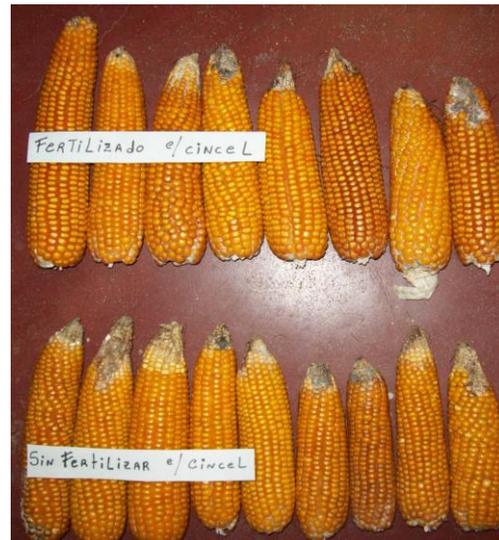


**Figura 21: Altura de las plantas (cm.), para los cuatro tratamientos.**

Como se lo esperaba, el tratamiento testigo sin cincel sin fertilizar (foto 4), manifestó cualitativamente un menor desarrollo radicular general, teniendo mayormente raíces primarias y muy pocas raíces secundarias y pelos radicales; pudiendo estar originada por dos efectos, falta de exploración radical por la escasa remoción de la cuchilla turbo, y falta de desarrollo radical por deficiencia nutricional.



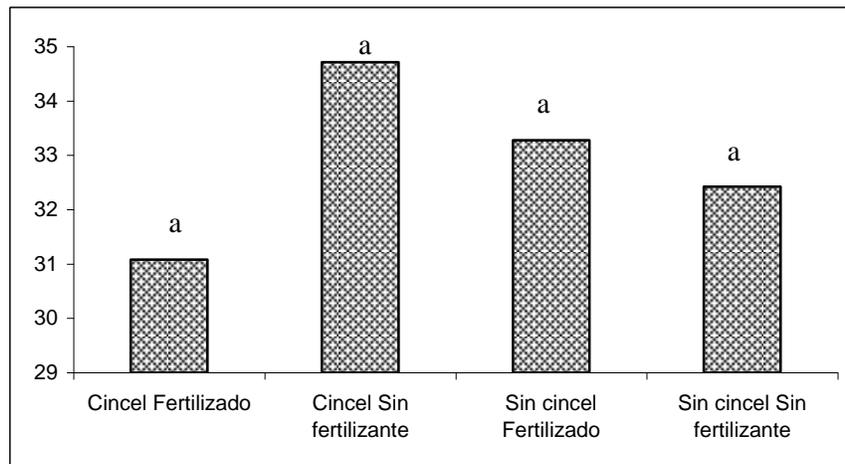
**Foto 5: Espigas del tratamiento sin cincel y sin fertilizar (arriba), y sin cincel y fertilizado (abajo).**



**Foto 6: Espigas del tratamiento con cincel y fertilizado (arriba), y con cincel y sin fertilizar (abajo).**

Los tratamientos con cincel escarificador fueron los de mayor rendimiento, peso de espiga, peso de mil granos, relación grano: marlo y objetivamente con mayor cantidad de raíces secundarias, que los tratamientos sin cincel, pero fueron los tratamientos con menor densidad y menor altura.

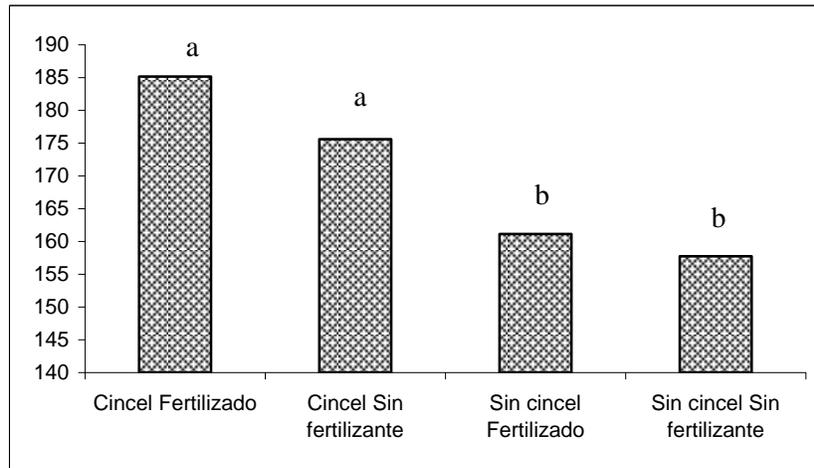
Independiente de si se fertilizo o no, aquellos tratamientos donde estuvo el cincel escarificador (foto 6), se observa una coloración mas oscura de las espigas y un llenado similar, que en los tratamientos solamente fertilizados (foto 8).



**Figura 22: Distancia entre plantas promedio (cm.), para los cuatro tratamientos.**

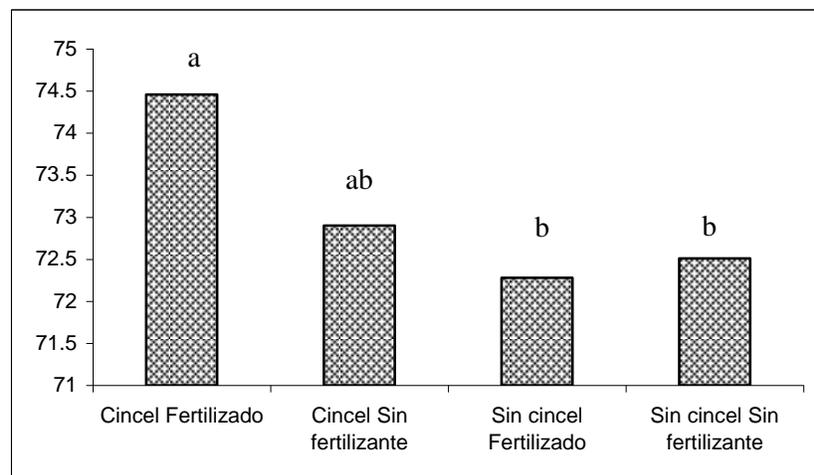
Los tratamientos fertilizados tuvieron mayores alturas significativamente ( $p \leq 0,05$ ) y objetivamente mayor cantidad de pelos radicales, que aquellos tratamientos sin fertilizar pero con menores distancias promedios entre plantas significativamente ( $p \leq 0,05$ ). Y también se observa claramente en la foto 7 como en la foto 8, existe diferencia de llenado de las espigas, producto de la deficiencia nutricional en los tratamientos sin fertilizar (foto 7), versus aquellos tratamientos fertilizados sin deficiencia (foto 8).

Resultados similares fueron obtenidos por Braim *et al.*, (1984). Erbach *et al.*, (1992), quienes trabajaron con cuatro suelos de texturas medias y pobre drenaje en Iowa, reportaron que las plantas de maíz emergieron más rápidamente con la labor de cincelado que con cero laboreo, aunque los stands finales de plantas no fueron afectados. Este efecto fue relacionado con la menor cobertura vegetal del suelo con subsolado, lo cual habría incrementado la temperatura del suelo. Por otra parte, Hipps y Hodgson (1987) no encontraron efectos sobre la emergencia de trigo.



**Figura 23: Peso de mil granos promedio (grs.), para los cuatro tratamientos.**

En los tratamientos sin cincel escarificador se puede ver en la foto 5, que presenta espigas con las puntas sin llenar y espigas con menos numero de granos por hilera, que en aquellos tratamientos sin fertilizar que presenta mayor numero de granos por hilera por espiga, aunque falta de llenar las puntas de las espigas. Se puede concluir que los tratamientos sin cincel presentaron espigas de menor tamaño, que los tratamientos fertilizados; pero las espigas que mas granos tuvieron por hilera fueron la de los tratamientos fertilizados y con cincel escarificador.



**Figura 24: Relación grano: marlo de la espiga, para los cuatro tratamientos.**



**Foto 7:** Espigas de los tratamientos con cincel y sin fertilizar (arriba), y sin cincel y sin fertilizar (abajo).



**Foto 8:** Espigas de los tratamientos con cincel y fertilizado (arriba), y sin cincel y fertilizado (abajo).

### **5.7. EFECTOS E INTERACCIONES CON LA VARIABILIDAD AMBIENTAL:**

En la figura 25 se puede observar el efecto ambiente para cada tratamiento. En base a los rendimientos medios de cada bloque, se pudo establecer para cada uno de ellos como se comporto cada uno de los tratamientos, viéndose que el bloque 2 arroja los mayores rendimientos medios, para la totalidad de los tratamientos probados. Siendo que en el bloque 1 se obtuvieron los más bajos rendimientos, debido quizás a contenidos altos de arena y bajos en agua y materia orgánica, aunque no se midió ninguna de esta variable, por lo que no es una conclusión certera. Y ubicándose el bloque 3 en una situación media de rendimientos, para los tratamientos probados.

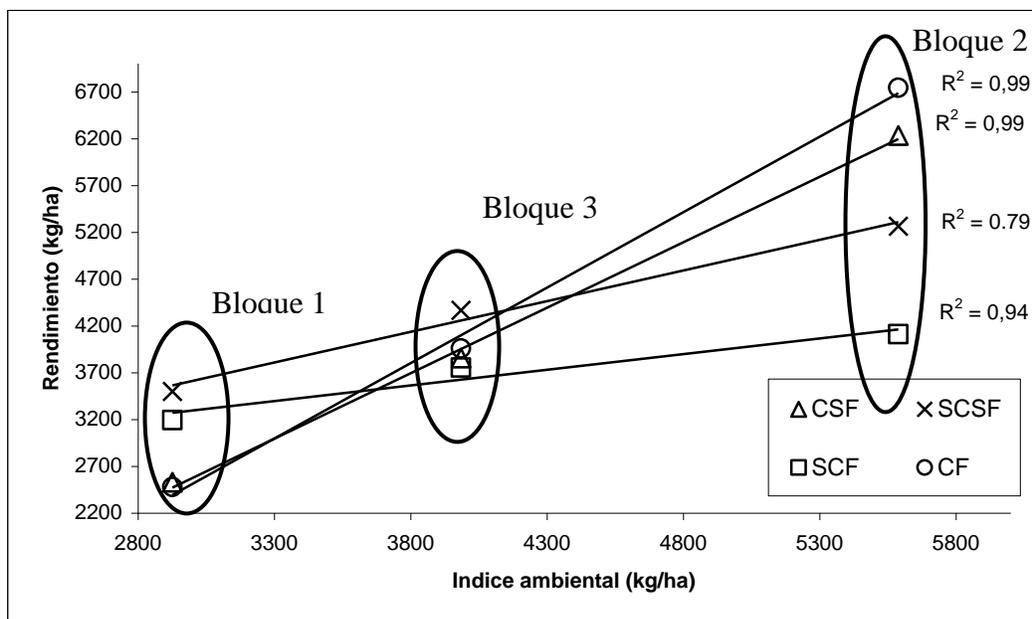
Si se analiza por tratamientos, la pendiente de cada recta, indica la estabilidad de cada tratamiento en los diferentes bloques, suponiéndose que existe diferencias entre ellos.

Por lo que se observa que el tratamiento cincel fertilizado fue el de menor estabilidad, viéndose una menor pendiente de la recta, pudiendo estar asociado a que hay un efecto fertilizante en el bloque de mayor potencial, sumándose algún aporte mas de nitratos por efecto mineralizante del cincel escarificador. No ocurriendo lo mismo en situaciones diferentes como se observa en el bloque 1, asociándose a un ambiente más de loma, consiguiendo así menores rendimientos por las características propias del bloque.

Muy similar al tratamiento analizado son los resultados del tratamiento cincel sin fertilizante,

explicándose por el efecto en la mineralización por parte del cincel, ya que ambos tenían el accesorio en común, pero quizás asociado a un déficit de nutrientes, ya que es un tratamiento sin fertilizante, explica porque es levemente menor el rendimiento en bloque 2 y no viéndose variaciones en el rendimiento en el bloque 1.

El tratamiento sin cincel fertilizado, fue el de mayor estabilidad, similar al tratamiento sin cincel sin fertilizante, teniendo el mayor rendimiento en el bloque 1 en comparación a los tratamientos con cincel. Por lo que el hecho de no ser fertilizado pudo haber tenido una deficiencia nutricional en el bloque 2, no pudiéndose expresar el potencial de rendimiento por lo ya antes mencionado, aunque se el bloque 1 los dos tratamientos sin cincel escarificador, presentaron los mayores rendimientos, pero sin conclusiones certeras de porque estos resultados, a pesar de estar asociado a un ambiente mas de loma.



**Figura 25: Índice ambiental de los diferentes tratamientos, para los 3 bloques. Referencia: CSF: Cincel sin fertilizar. SCSF: Sin cincel sin fertilizante. SCF: Sin cincel fertilizado. CF: cincel fertilizado.**

## **CAPITULO VI. CONCLUSIONES:**

En aquellos tratamientos donde estuvo presente el cincel escarificador mostraron diferencias en el rendimiento, cumpliéndose la hipótesis que se quería probar. Estando asociado estos resultados, a una disminución de la densidad aparente y a un cambio en las tasas de mineralización, no asociándose esta última, de igual forma para aquellos tratamientos donde estuvo presente la cuchilla turbo.

La resistencia a la penetración, manifestó resultados dentro de lo que se pensaba, mostrando menos resistencia a la penetración en aquellos tratamientos donde estuvo presente el cincel escarificador, contribuyendo así a un mejor perfil enraizable, no detectándose diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en el contenido hídrico del suelo a ninguna profundidad en particular.

Los diferentes tratamientos probados mostraron diferencias significativamente ( $p \leq 0,05$ ) en cuanto al rendimiento y a sus componentes directos. Resultando una tendencia de rendimiento de los siguientes tratamientos: cincel fertilizado > cincel sin fertilizante > sin cincel fertilizante > sin cincel sin fertilizante.

Se concluyó que los diferentes componentes del rendimiento, tanto directos como indirectos impactaron significativamente ( $p \leq 0,05$ ) y no.

Dentro de los que mostraron diferencias significativa ( $p \leq 0,05$ ) se encontró altura de las plantas, peso de mil granos y relación grano marlo. La altura de plantas más halla de que sea un componente indirecto del rendimiento, mostró mayores valores significativamente ( $p \leq 0,05$ ) en los tratamientos fertilizados. El peso de mil granos asociado directamente al rendimiento, mostró diferencias significativamente ( $p \leq 0,05$ ) entre aquellos tratamientos con y sin cincel escarificador. La relación grano: marlo mostró significativamente ( $p \leq 0,05$ ) en el tratamientos cincel fertilizado.

La densidad de plantas no resultó de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos probados.

Se pudo observar un efecto fertilizante aunque no muy significativo para los tratamientos probados.

Se pudo observar interacción entre ambientes, resultando que el tratamiento cincel fertilizado mostró la menor estabilidad en el rendimiento, para los 3 bloques analizados, versus, el tratamiento sin cincel sin fertilizante con el de mayor estabilidad. Se propone líneas futuras de investigación en lo respecta a efecto del ambiente y al subsolado.

## **CAPITULO VII. BIBLIOGRAFIA:**

Abou Arab, A.A., Mohamed, S.A., Mohamed, M.A., Ibrahim, A.M., 1998. Effect of soil compaction on some soil properties under different moisture regimes. Egyptian Journal of Soil Science. 38 (1-4): 211-228.

Álvarez C. y Mulin E., 2004. El gran libro de la siembra directa. Clarín. Cap. 1 pagina 3.

Álvarez C. y Mulin E., 2004. El gran libro de la siembra directa. Clarín. Cap. 3 pagina 34.

Álvarez C. y Mulin E., 2004. El gran libro de la siembra directa. Clarín. Cap. 15 paginas 166-189.

Álvarez C.R., Taboada M.A., Bustingorri C. y F.H. Gutiérrez Boem. 2006. Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. Ci. Suelo (Argentina) 24 (1): 1-10.

Arshad, M.A. and Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. Am. J. Alternative Agric. 7:25-31.

Arshad, M.A., Lowery B. y B. Grossman 1996 Physical test for monitoring soil quality: 123-142. En: J.W. Doran y J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.

Ayers, P. D. y H. D, Bowen. 1987. Predicting soil density using cone penetration resistance and moisture profiles. Trans. ASAE 30:1331-1336.

Barber R. G. 1994. Persistence of loosened Horizons and Soybean Yield Increases in Bolivia. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:943-950.

Bergh, R.; F, García; J, Ferrari y R, Rizzalli. 1996. Dinámica del N, crecimiento y rendimiento del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. La Pampa.

Bertón, J. A. y Echeverría, J. C. 1999. Cambio climático global en San Luis: régimen pluviométrico. VII Jornada Cuidemos nuestro mundo (CNM'99). Universidad Nacional de San Luis. Agosto de 1999. pp. 48-50.

Beutler, A. N.; J.F. Centurion, J. F. 2003. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v.38, p 849-856.

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 EPG-FAUBA.

Bonadeo, E., Cantero, A., e I. Moreno 2003a. Relación entre la compactación subsuperficial y la resistencia a la penetración de un Hapludol típico con las raíces de maní. *Revista de la UNRC*, 13 (1-2): 23-36, Río Cuarto, Argentina.

Bono A., J.C. Fernández, S. Aimar y D.E. Buschiazzo 1993 Resistencia a la Penetración y Contenido de Humedad en diferentes suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Trabajo y Comunicaciones Resumidas: 31. Mendoza. Argentina.

Boone F. R. y B. W. Veen. 1982. The influence of mechanical resistance and phosphate supply on morphology and function of maize root. *Neth. J. Agric. Sci.* 30: 179-192.

Botta G.F., Jorajuria D., Rosatto H. y C. Ferrero. 2006. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Till. Res.* 86 (1): 9-14.

Botta GF., Jorajuría D., Balbuena R., Rosatto H. 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil Till. Res.* 78:53-78.

Botta, G.; D. Jorajuría and L. Draghi. 2002. Influence of axle load, tyre size and configuration, on the compaction of a freshly tilled clayed soil. *J. Teramech*, 39 (1): 47 – 54.

Braim, M .A.; K, Chaney y D. R, Hodgson. 1984. Preliminary investigation on the response of spring barley (*Hordeum sativum*) to soil cultivation with the Paraplow. *Soil Till. Res.* 4:277-293.

Buschiazzo D.E., J.L. Panigatti and P.W. Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil & Tillage Research* Vol. 49 (1-2) pp. 105-116.

Camp, C. R. y W. R. Gill. 1969. The effect of drying on soil strength parameters. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:641-644.

Cannell, R.Q.; Hawes, J.D. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. Soil and Tillage Research Vol 30 pp 245-282.

Cannell, R.Q.; Hawes, J.D. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. Soil and Tillage Research Vol 30 pp 245-282.

Carter MR., Holstrom DA., Cochrame LM., Brenton PC., Van Roestel JA. 1996. Persistence of deep loosening of natural compacted subsoils in Nova Scotia. Can. J. Soil. Sci. 76(4): 541-547

Carvalho Filho, A.; L. Carvalho; J. Centurion; R. Da Silva; C. Furlani. 2006. Efeitos de sistemas de preparo do solo na cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) Eng. Agríc. Jaboticabal, 26(3):777-786.

Casagrande, G. A. y Vergara, G. T. 1996. Características climáticas de la región. Cap. 2 en: Labranzas en la región semiárida Argentina. INTA. pp. 11-17.

Cassel D. K. y L. A. Nelson. 1985. Spatial and temporal variability of soil physical properties of Norfolk loamy sand as affected by tillage. Soil and Till. Res. Vol. 5: 5-17.

Cazorla, C. 2005. Resistencia a la penetración como indicador de compactación en suelos bajo siembra directa en ensayos de labranza de larga duración en Marcos Juárez. Resumen del trabajo presentado en el Seminario Internacional sobre Indicadores de Calidad de Suelo, INTA Marcos Juárez, 20-22/04/05.

Centurion, J.F., 1987. Effect of different tillage methods on the physical properties of a Cerrado soil and on Maize yield. Científica. 15 (1-2): 1-8.

Chagas, C. I.; H. J, Marelli y O. J, Santanotoglia. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol Típico bajo tres sistemas de labranza. Ciencias de Suelo 12:11-16.

Chidichimo H., Asbornio M. y A. Aragón. 1997. Enraizamiento de maíz: respuesta genotípica a tratamientos de compactación y humedad del suelo. Compendio de Trabajos Presentados al VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, Argentina. Tomo III: 173-179.

Cholaky, C. G. 2003. Efectividad y persistencia de una labor de descompactación con subsolador alado en fusión de la compactación y humedad antecedente. Tesis de Maestría en Manejo y Recuperación de Tierras. FAV-UNRC.

Cisneros, J. M.; C. Cholaky; E. Bricchi; O. Giayetto y J. J. Cantero 1997. Evaluación del efecto del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un haplustol típico del centro de Córdoba. Rev. UNRC 17(1): 13-22.

Collado, A.D. 2003. Teledetección y estudios sobre desertificación en San Luis. In Aguilera, M.O. y Panigatti, J.L. (Ed.) Con las metas claras. La EEA San Luis: 40 años a favor del desarrollo sustentable (INTA), Cáp. 9: 159-179.

Corsini, P.C.; Ferraudo, A.S., 1999. Effects of tillage systems on bulk density, aeration porosity and root development of maize in a typical Haplorthox soil. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 34 (2): 289-298.

Crovetto Lamarca C. 1992 Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria. Concepción, Chile.

d'Hiriart, A.; Marchi, A. A., Buschiazzo y Aimar, S. 1996. Labranzas en la región semiárida de San Luis. Cap. 9 en Labranzas en la región semiárida Argentina. INTA. Pp. 93-101.

Daddow, R.L.; Warrington, G.E. 1983. Growth-limiting soil bulk densities as influenced by soil texture. Fort Collins: USDA, Forest Service, 1983. p.1-17.

Davies B., Eagle D. y B. Finney 1982 Manejo del suelo. Editorial El Ateneo. Buenos Aires, Argentina.

De Boer, D.W.; Beck, D.L., 1989. Will it wash ?. Low pressure sprinklers increase runoff. Cure is to change tillage. South Dakota Farm Home res. 60:8-10.

Dexter A. R. 1991. Amelioration of soil by natural processes. Soil and tillage Research, 20: 87-100.

Díaz Zorita M., Duarte G., Grove JH. 2002. A review of no-till systems and soil management sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. Soil and Tillage Research 65: 1-18.

Díaz-Zorita M. 2000. Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity. Soil & Tillage Res. 54: 11 – 19.

Domínguez, J., Ressia, J., Jorajjuría, D., Balbuena, R. y G. Mendívil 2000 reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. Avances en Ingeniería Agrícola. II Congreso Americano de Ingeniería Agrícola. Pp. 110-115.

Echeverría, J. C. y Kall, G. F. 1990. Las lluvias en Villa Mercedes (S. L.). INTA. Informe técnico N° 113. 16 pp.

Eijkelkamp Agrisearch Equipment 1995 Penetrologger. Manual del usuario, 28 págs.

Elisondo JL., Costa JL., Suero E., Fabrizzi KP., García F. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo luego de la introducción de labranzas verticales en suelos bajo siembra directa. Revista Ciencia del suelo. 19(1): 11-19.

Erbach, D. C.; J. G, Benjamin; R. M, Cruse; M. A, Elamin; S, Mukhtar y C, Choi. 1992. Soil and crop response to tillage with Paraplow. Trans. ASAE 35:1347-1354.

Evans,S.D.; Lindstron, M.J.;Voorhees, W. B.; Moncrief, J. F. ; Nelson, G. A. , 1996 Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk dencity, soil mistureand corn yieldd.soiland Tillage Research38: 35-46.

Falotico, J.; G, Studdert y H, Echeverría. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Ciencia del Suelo 17:9- 20.

Ferreras LA., Costa JL., García FO., Pecorari C. 2000. Effect of no tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudol of the southern "Pampas" of Argentina. Soil Till. Res. 54: 31-39.

Ferreras, I. 1996 Efectos de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un suelo del sudeste bonaerense. Tesis de Magíster Scientiae. Facultad de Agronomía. Universidad nacional de Buenos Aires. 75 pp.

Fogante G. y Pellizzón G., 1999. Bases de la siembra directa: un sistema productivo integral y sustentable. Paginas 6-67.

Fontanetto, H. y Gambaudo 1996 Sistemas de labranza para el trigo. Su influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Public. Misc. N° 74. INTA EEA Rafaela.

Gerard, C. J.; P, Sexton y G, Sshaw. 1982. Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agron. J.* 74:875-879.

Gill, W.R. y G. H, Bolt. 1955. Pfeffer's studies on the root growth pressures exerted by plants. *Agron. J.* 47:166-168.

Grimes, D. W.; R. J, Miller y P. L, Wiley. 1975. Cotton and corn root development in two field soils of different strength characteristics. *Agron. J.* 67:519-523.

Güclü Yavuzcan H.,M. Vatandas and R. Gürhan. 2002. Soil strength as affected by tillage system and wheel traffic in wheat -corn rotation in central Anatolia. *J. of Terramechanics* Vol. 39 pp. 23-34.

Gueçaimburu JM, Ceriani JC, Introcaso RM, Faita EC, Torella JL, Schirripa L. 2003 Efecto comparado de sistemas de labranzas sobre algunas propiedades físicas del suelo y su impacto sobre el rendimiento en el cultivo de Soja. VII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Balcarce. Buenos Aires. 7 al 9 de mayo de 2003. Publicado en CD y en Actas del CADIR 2003. Ref 4-20.

Håkansson, I and J Lipiec. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research* 53. p 71-85

Håkansson, I.; Voorhess, W.; Elonen, P.; Raghavan, G.S.V.; Lowery, B.; Van Wijk, A.L.M.; Rasmussen, K y Riley, H. 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and croa yield in humid regions with annual freezing. *Soil and Tillage Research* Vol. 10, pp 259-268.

Hamza, M.A. and W.K. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82(2): 121-145.

Harrison D. F., Cameron K. C. y R. G. McLaren. 1994. Effects of subsoil loosening on soil physical properties, plant root growth, and pasture yield. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* Vol. 37: 559-567.

Hipps, N. A. y D. R, Hodgson. 1987. The effect of a slant-legged subsoiler on soil compaction and the growth of direct-drilled winter wheat. *J. Agric. Sci.* 109:79-85.

Hipps, N. A. y D. R, Hodgson. 1988. Residual effects of a slant-legged subsoiler on same soil physical conditions and the root growth of spring barley. *J. Agric. Sci.* 110:481-489.

Jorajuría, D. and L. Draghi. 1997. The distribution of soil compaction with depth and the response of a perennial forage croa. J. Agric. Eng. Res., 66: 261 – 265.

Keeney D.R. y D.W. Nelson. 1982. Nitrogen, en methods of soil análisis, Part 1, Physical and mineralogical methods, Agronomy monographs no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 635-660.

Klute, A. and C. Dirksen 1986 Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods En: Klute, A. Ed. Methods of soil analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods- Agronomy Monograph no. 9 (2nd Edition).

Kruger HR. 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. Ciencias del Suelo. 14: 104-106.

Kruger, H.; R, Agamennoni y M, Ripoll. 2000. "Proyecto Labranza Conservacionista I". INTA Bordenave – INTA Ascasubi.

Lal, R. 1991 Soil structure and sustainability. Sust. Agric. 1:277-294.

Larson ,W.E. and Pierce, F.T. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol 2: Technical Papers. Bangkok, Thailand, International Board for Soil Research and Management. IBSRAM Procceding N° 12 (2): 175-203

Larson, W. E.; S. C, Gupta y R. A, Useche. 1980. Compression of agricultural soils from eight soil orders. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:450-457.

Lavado, R.S., Rodriguez, M., Zubillaga, M., Taboada, M., 1998. Jornadas de Actualización. El Diagnóstico de la Fertilidad como herramienta para evaluar la aptitud de un lote. Cátedra de Fertilidad y uso de los Fertilizantes, FAUBA.

Leiva, P.D., Hansen, O.M., 1984. Sistemas de labranza en la rotación trigo/soja-maíz. III Las resistencias mecánicas del suelo y del desarrollo radicular del cultivo de maíz. Congreso Nacional de Maíz. AAIAZNPBA.

Longsdon, S. D.; T. C. Kaspar; C. A. Cambardella. 1999. Depth-incremental soil properties under no-till or chisel management. Soil Science Society of America Journal. 63(1):197-200

Marelli H. 1998. La siembra directa como práctica conservacionista. En Panigatti, J.L., Marelli, H., Buzchiazzo, D., Gil, R. (Eds.) Siembra Directa. INTA. Ed. Hemisferio Sur. 127-139.

Maroni, J.R., Medera, R., 1989. Manual Práctico de Máquinas para la Labranza. Hemisferio Sur. 1-185.

Martino, D. L. 1998. Alleviation of soil physical constraints in direct-seeding systems in Uruguay. Tesis Ph.D. University of Manitoba, Canada.

Mc Lean E.O. 1998. Soil pH and lime requeriment, en Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological properties, Agronomy monographs, no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 199-223.

McConkey, B. G.; D. J, Ulrich y F. B, Dyck. 1997. Slope position and subsoiling effects on soil water and spring wheat yield. Can. J. Soil Sci. 77:83- 90.

McKyes E. 1985. Soil Cutting and Tillage. Developments in Agricultural Engineering 7.Chapters 3 y 4, págs. 87-104. Elsevier Sc. Publishers B.V. The Netherland.

Méndez Duhau, C. y Satorre, E., 1998. Introducción a la siembra directa. Siembra Directa, Cuaderno de actualización técnica de los C.R.E.A., N ° 59, 6-9.

Micucci, F. G. and M. A. Taboada. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max* Merrill) root abundance in conventionally and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. Soil and Tillage Research 86, p 152–162

Misra, R. K.; A. R, Dexter y A. M, Alston. 1986. Maximum axial and radial growth pressures of plant roots. Pl. Soil 95:315-326.

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.

Morandi M., 1984. La agricultura y los implementos de hoy. Templar

Nelson D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, Organic carbon and organic matter, en *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological properties*, Agronomy monographs, no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 539-577.

Olsen S.R. and L.E. Sommers 1982. Phosphorus, en *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological properties*, Agronomy monographs, no. 9, second edition, ASA.SSSA., pp 403-446.

Orellana M., Barber R. G. y O. Díaz. 1990. Effects of deep tillage and the fertilization on the population, growth and yield of soya during an exceptionally wet season on a compacted Ustochrept, Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage research*, 17: 47- 61.

Orta, F. J. y Federighi, M. 1997. Cultivos estivales: las heladas en Villa Mercedes. *Horizonte Agropecuario* N° 55. INTA. La Pampa-San Luis. pp. 4.

Peña Zubiato, C. A y D'hiriart A., 2000 Hoja Villa Mercedes. Carta de suelos de la Republica Argentina, provincia de San Luis. Pág. 76.

Peña Zubiato, C.A. y Garay, J.A. 2003. Agrupamiento de las tierras de San Luis por su aptitud para el cultivo de maíz. INTA San Luis, Información técnica 161.

Pikul J. L. y J. K. Aase. 1999. Wheat response and residual soil properties following subsoiling of a sandy loam in eastern Montana. *Soil and Tillage Research*, 51:61-70.

Pikul, J. J. L.; J. F. Zuzel y R. E. Ramig. 1990. Effect of tillage-induced soil macroporosity on water infiltration. *Soil Till. Res.* 17:153-165.

Puricelli C. Y Demmi M., 1987. La compactación de los suelos en la región centro-oeste de la provincia de San Luis. INTA.

Puricelli, C.A. 1985. La agricultura rutinaria y la degradacion del suelo en la región pampeana. *AAPA, Rev. Arg. Prod. Anim. (Supl. 2):* 33-48.

Queiroz-Voltan, R. B.; S. S. Nogueira; M. A. C. Miranda. 2000. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.929-938.

Quiroga, A.; D. Buschiazzo y N. Peinemann. 1996. Propiedades físicas de los suelos en la región semiárida pampeana. Influencia de la textura, contenidos de materia orgánica y el manejo. Actas Congreso CREA Zona Oeste, 56 – 58.

Schmidt, E., Amiotti, N., Bravo, O. 2006. Indicadores de pérdida de calidad de suelos bajo siembra directa continua en la pampa semiárida. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy. p. 395.

Secco, D.; D. J. Reinert; J. M. Reichert; C. O. Da Ros. 2004. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. Revista Brasileira de Ciencia do Solo 28(5):797-804

Silenzi JC., Vallejos AG., Echeverría NE. 2001. Agricultura sustentable en la región semiárida argentina aplicando siembra directa. Memorias IV Congreso internacional de Ingeniería Agrícola. Vol. I, pp. 217-220. Chillán, Chile, 9, 10 y 11 de Mayo

Silva, V. R.; D. J. Reinert; J. M. Reichert. 2000. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. Ciência Rural, v.30, p 795-801.

Smith, D.L. ; Dickson, J.W. 1990. Contributions of vehicle weight and ground pressure to soil compaction . Journal of Agricultural Engineer Research. Vol. 46 (1). pp 13-29.

Snedecor, G. W. y W. G. Cochran. 1984. Métodos Estadísticos. Ed. C.E.C.S.A. Pp. 703. México.

Soane, B.D. and Van Ouwerkerk, C. (Ed). 1994. Soil compaction in croa production. Elsevier, Amsterdam.

Sojka R. E., Westermann D. T., Brown M. J. y B. D. Meek. 1993. Zone-subsoiling effects on infiltration, runoff, erosion, and yields of furrow-irrigated potatoes. Soil and Tillage Research, 25: (351-368).

Soza, E. L.; D. W. Agnes; M. C. Tourn; G. F. Botta. 2007. Respuesta del cultivo de soja a la descompactación por mínimas labranzas y siembra directa. IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR. Libro de resúmenes. p 66.

Taboada M. A. y F.G. Micucci F. 2002. Fertilidad Física de los suelos. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 79 Págs.

Taboada, M. A. 1998. Compactación superficial causada por la siembra directa y regeneración estructural en suelos franco limosos pampéanos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. pp. 361-374.

Taylor, H. M. 1971 Effects of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. En compactation of Agricultural Soils. Capítulo 6. pp. 292-305. ASE Monograph St. Joseph, Mi. USA 471 pp.

Terminiello, A.; J. Hilbert; J. Claverie; T. Palancar; L. Draghi; R. Balbuena; D. Jorajuría. 2007b. Persistencia del efecto del escarificado en un suelo argiudol típico bajo siembra directa. Avances en Ingeniería Rural. IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR. Ed. Bocco –Cosiansi. ISBN: 978-987-1253-29-6. p 339-343

Terminiello, A.; R. Balbuena; M. Ariata; J. Hilbert; J. Claverie; D. Jorajuría. 2007a. Descompactación del suelo y tráfico de siembra. Efectos sobre el rendimiento de soja (*Glycine max* L. Merr). Avances en Ingeniería Rural. IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR. Ed. Bocco – Cosiansi. ISBN: 978-987-1253-29-6. p 171-177

Threadgill E. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. Transactions of the ASAE. Vol 25: 859-863, 867.

Torbert, H. y D. Reeves 1995 Traffic and residue management systems: effects on rate of fertilizer N in corn. Soil Till Res 33, 197-213.

Uberto, M., Cisneros, J.M., Vignolo, C., Cholaky, C., Pedelini, R. 2002. Influencia de tres sistemas de labranza en algunas propiedades físicas de suelos en rotación con maní. Actas de la XVII Jornada Nacional de Maní. General Cabrera

Unger P. W. 1993. Reconsolidation of Torric Paleustoll after tillage with paratill. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 195-199.

Unger, P.W. 1996 Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. Soil Till Res 37, 67-75.

Vallejos AG, Schwindt D., Silenzi JC., Echeverría NE., De Lucía M. 2006. Efecto de dos sistemas de labranza sobre propiedades del suelo en un cultivo de trigo. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy. p. 395.

Vepraskas M. J. y G. S. Miner. 1986. Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 423-427.

Vepraskas, M. J. y M. G. Wagger. 1989. Cone index values diagnostic of where subsoiling can increase corn root growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1499-1505.

Vidal, C.M., Costa, J.L. 1998. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. *RIA Vol. 29 p.* 211-212

Viglizzo, E. F. 1994. El INTA frente al desafío del desarrollo agropecuario sustentable. En: *Desarrollo agropecuario sustentable. INTA-INDEC.* 85 pp.

Voorhees, W.B., Senst, C.G. y N. W. Nelson 1978 Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the northern corn belt. *Soil Science Society of America Journal. Vol. 42 (2), pp.* 344-349.

Voorhess, W.B.; Senst, C.G. y Nelson, W.W. 1978. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the northern Corn Belt. *Soil Sci. Soc. A.M.J., 50.* pp.728-433.

Wang Shi Xin; Cui Jian Bo; Zhuang Ji Ping; 1996. Effect of subsoiling on croa yield in the semi- arid area of westliaoning and its mode of action. *Chinese Journal of Applied Ecology* 7: 3, 267-272.

Williams, J. y C. F. Shaykewich. 1970. The influence of soil water matric potential on the strength properties of unsaturated soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:835-840.

Xu Di; Schmid, A., Meroud, A. 1999 . Effect of Tillage practices on the variation of soil misture and the yield of summer maize. *.Transactions of the Chinese of Agricultural Engieneering.* 15: 2, 79-84.

Zajac C, Vallejos A, Echeverría N, Silenzi J, De Lucia M. 2007. Evaluación de la descompactación en un barbecho en siembra directa mediante la utilización de un arado paratill. *Avances en Ingeniería rural IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR.*Edit. Bocco, M. Cosiansi, J.pag 187-193.