

Cod. Barras/ 103338

N.º R. ALEPH 930074  
N.º R. Bib. 4813  
Signat. M/CI-37 HENAO

**RESPUESTA DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO A  
DOS METODOS DE LABOREO (TRADICIONAL Y CONSERVACION) Y  
NUTRICION DE UN CULTIVO DE TRIGO *Triticum sp. L.*, EN LA ZONA  
DEL ALJARAFE, TRAS OCHO AÑOS DE APLICACIÓN.**



**ALVARO HENAO MEJIA**  
Ingeniero Agrónomo  
(Colombia)

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA  
SUELO-PLANTA-ATMOSFERA  
SEVILLA  
JULIO de 2000**

HENAO

M/CI-37

2000

**RESPUESTA DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO A  
DOS METODOS DE LABOREO (TRADICIONAL Y CONSERVACION) Y  
NUTRICION DE UN CULTIVO DE TRIGO *Triticum sp. L.* EN LA ZONA  
DEL ALJARAFE, TRAS OCHO AÑOS DE APLICACION**

Trabajo presentado como requisito de aprobación del XXXVII Curso  
Internacional de Edafología y Biología Vegetal.

ALVARO HENAO MEJIA  
Ingeniero Agrónomo

Directores

FELIX MORENO LUCAS  
Doctor en Ciencias Químicas

JOSE MANUEL MURILLO CARPIO  
Doctor en Ciencias Químicas

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA  
SUELO-PLANTA-ATMOSFERA  
SEVILLA  
JULIO de 2000**

Nota de aceptación

Los Directores,

---

Dr. D. Félix Moreno Lucas  
Investigador Científico CSIC.

---

Dr. D. José Manuel Murillo Carpio  
Investigador Científico CSIC.

El Becario,



---

Alvaro Henao Mejía

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero manifestar expresamente mi gratitud a la Agencia Española de Cooperación Internacional AECI, por el otorgamiento de la beca que hizo posible mi estancia en España.

Al Doctor Don LUIS CLEMENTE SALAS, coordinador del curso, por haber elegido a este “espécimen latinoamericano” como becario y apostar por Colombia, sin ni siquiera saber la “joyita” que importaba. Espero no haberlo decepcionado.

Al Doctor Don FELIX MORENO LUCAS jefe del departamento de sostenibilidad del sistema suelo-planta-atmósfera del IRNAS, la aceptación para incorporarme a uno de sus proyectos y dirigir mi trabajo de aprobación de curso. A él también espero no haberlo decepcionado.

Al Doctor Don JOSE MANUEL MURILLO CARPIO, por contribuir a que este trabajo tuviera el componente de nutrición vegetal, sin lugar a dudas enriqueció mi formación. También espero, no haberlo decepcionado.

A PEDRO PABLO HERRERA VIVAS y LEONARDO REY BOLIVAR, investigadores de los programas Manejo Integrado de Suelos y Aguas (MISA) y Recursos Vegetales y Fitomejoramiento respectivamente; de la

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, C.I. Nataima; por haber dado el aval para asistir a este curso y creer en mí. “Ellos si sabían la joyita que salía para España”

Al señor JOSE RODRIGUEZ “PEPE”, auxiliar de investigación, gran persona, con quien compartí buenos momentos en las salidas a la hora de recolectar información.

Al Ingeniero Técnico Agrícola (ITA), señor IGNACIO GIRON, persona clave en la recolección de datos y procesamiento de los mismos, con él compartí momentos agradables en las salidas al campo.

A JOSE LUIS ZURITA GARCIA, Técnico de Laboratorio, que además de ser compañero de batallas, aprendí a valorar su amistad, el “mansito” resultó ser un buen anfitrión pero además..., cómplice, “pana”, durante mi estadía... siempre fue mi llavería.....incluso a ROSA Técnico de Laboratorio que después de odiarme tanto, logré su estimación.

A JUAN MIGUEL GARCIA DEL TORO “GARCI”, su amistad, otro “pana” que me colaboró y sirvió de crítico a la hora de revisar este trabajo.

A BOUCHRA, por ayudarme en los momentos que lo necesité y por supuesto, su amistad.

A VICKY, no solo por haberme ayudado, puso su toque original, su estilo; más que eso por su amistad, esto incluye a ENRIQUE FERNANDEZ, que con sus valiosos comentarios guió apartes de mi trabajo, a ellos dos mi gratitud.

Bueno, y a última hora se me coló Javier Ruiz, "Javi" "el informático", "el hombre del "cabello largo", me colaboró en el momento que más lo necesitaba, de hecho hizo sus primeros pinitos paginando. Siempre es agradable, encontrar personas con la disposición para ayudar.

A todas aquellas personas que de una u otra forma, tuvieron algo que ver con este trabajo.

A todas ellas mi gratitud

**ALVARO.**

## DEDICATORIA

*Todo lo que hago  
lo hago, por tí...  
COLOMBIA...*

*Pero tambien.....*

*A esa Sevillana que sentí amar.  
A ella que mucho o poco me amó.*

*Y aunque nunca supe quién sufrió más  
tengo que confesar que si mi estancia valió la pena  
fue  
porque tu exististe.....*

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	1
1. ANTECEDENTES	3
1.1. LABRANZA TRADICIONAL	3
1.2. LABRANZA DE CONSERVACION	4
1.3. CARACTERÍSTICAS RADICULARES DEL TRIGO	6
1.4. COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA	7
1.5. COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD APARENTE	8
1.6. COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION	9
1.7. COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	10
1.8. COMPORTAMIENTO DE LA INFILTRACION	11
1.9. EFECTOS DE LA COMPACTACION EN EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS	11
1.9. EFECTOS SOBRE EL BALANCE NUTRICIONAL	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. GENERALES	13
2.2. ESPECIFICOS	13
3. MATERIALES Y METODOS	14
3.1. DESCRIPCIÓN DEL AREA EXPERIMENTAL	14

3.1.1. Localización Geográfica	14
3.1.2. Características Fisiográficas de la Zona	16
3.1.3. Climatología	16
3.2. DENSIDAD APARENTE	18
3.3. MEDIDA DEL AGUA EN EL SUELO	18
3.3.1. Método Gravimétrico	18
3.3.2. Barrena de Media Caña	19
3.3.3. Sonda de Neutrones	19
3.4. RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	20
3.5. MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	26
3.5.1. Infiltración Bajo Carga Negativa (Método del Infiltrómetro de Disco)	26
3.5.2. Modo de Operación	31
3.6. ANALISIS NUTRICONAL	36
3.6.1. Determinación de Nitrógeno	36
3.6.2. Digestión de la Muestra para el Análisis de los Restantes Nutrientes.	37
3.7. MEDIDAS EN EL CULTIVO	37
3.7.1. Altura de Plantas	37
3.7.2. Cosecha	38
4. RESULTADOS Y DISCUSION	39
4.1. DENSIDAD APARENTE	39
4.2. CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	41
4.3. RESISTENCIA A LA PENETRACION	46
4.4. ANALISIS DE LOS PERFILES HIDRICOS	49
4.5. ANALISIS DE PLANTAS	53

4.5.1. Concentración de Macronutrientes	53
4.5.2. Concentración de Micronutrientes	55
4.5.3. Concentración de Macronutrientes a Cosecha	56
4.5.4. Concentración de Micronutrientes a Cosecha	57
4.5.4. Indices DRIS	57
4.6. ALTURA DE PLANTAS	59
4.7. PRECIPITACION	60
4. CONCLUSIONES	63
BIBLIOGRAFIA	

## LISTA DE TABLAS

	Pag.
<b>Tabla 1.</b> Descripción de perfil típico, lote laboreo. Coria del Río. (Mударra, 1988).	17
<b>Tabla 2.</b> Coeficientes de transformación, número de golpes a unidades de presión (MPa). Penetrómetro de impacto vertical con tubo guía.	26
<b>Tabla 3.</b> Densidad aparente (Da) y contenido de humedad para un suelo sometido a dos métodos de laboreo (LC = conservación; LT = tradicional). Coria del Río.	41
<b>Tabla 4.</b> Valores medios de las propiedades hidráulicas de un suelo, sometido a dos métodos de labranza, (24-01-00). Coria del Río, primera lectura.	43
<b>Tabla 5.</b> Valores medios de las propiedades hidráulicas de un suelo, sometido a dos métodos de labranza, (14-03-00). Coria del Río, segunda lectura.	46
<b>Tabla 6.</b> Concentración de macronutrientes expresados sobre materia seca. (14-01-00).	54
<b>Tabla 7.</b> Concentración de macronutrientes expresados sobre materia seca. (15-03-00).	54
<b>Tabla 8.</b> Concentración de micronutrientes expresados sobre materia seca. (14-01-00).	55
<b>Tabla 9.</b> Concentración de micronutrientes expresados sobre materia seca. (15-03-00).	55
<b>Tabla 10.</b> Concentración de macronutrientes para grano y paja de trigo cosechado en un suelo sometido a dos métodos de labranza (tradicional y conservación), expresados sobre materia seca.	56
<b>Tabla 11.</b> Concentración de micronutrientes para grano y paja de trigo cosechado en un suelo sometido a dos métodos de labranza (tradicional y conservación), expresados sobre materia seca.	57

<b>Tabla 12.</b> Índices DRIS y orden de necesidades nutricionales según DRIS (1987)(14-01-00).	58
<b>Tabla 13.</b> Índices DRIS y orden de necesidades nutricionales según DRIS, (1987) (14-01-00).	59

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura 1.</b> Localización Geográfica, estación experimental "La Hampa".	15
<b>Figura 2.</b> Esquema de funcionamiento de la sonda de neutrones.	21
<b>Figura 3.</b> Penetrómetro de impacto vertical con tubo guía.	23
<b>Figura 4.</b> Permeámetro de disco.	28
<b>Figura 5.</b> Esquema explicativo del Permeámetro de Disco.	29
<b>Figura 6.</b> Evolución de la densidad aparente, para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo (LT = tradicional; LC = conservación), bajo un cultivo de trigo.	40
<b>Figura 7.</b> Variación de la conductividad hidráulica y sorptividad vs potencial de presión para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo (LT = tradicional; LC = conservación), bajo un cultivo de trigo. Primera lectura.	42
<b>Figura 8.</b> Variación de la conductividad hidráulica y sorptividad vs potencial de presión para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo (LT = tradicional; LC = conservación), bajo un cultivo de trigo. Segunda lectura.	45
<b>Figura 9.</b> Variación de la resistencia a la penetración medida con penetrómetro de impacto vertical para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo (LT = tradicional; LC = conservación), bajo un cultivo de trigo.	47
<b>Figura 10.</b> Evolución de los perfiles hídricos, para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo (LT = tradicional; LC = conservación), bajo un cultivo de trigo.	50
<b>Figura 11.</b> Dinámica de crecimiento para un cultivo de trigo, sobre suelo sometido a dos métodos de laboreo (LC = Conservación; LT = Tradicional).	61

**Figura 12.** Registro pluviométrico para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo, (Conservación y Tradicional), bajo cultivo de trigo. Coria del Río, campaña 99/00.

## INTRODUCCION

La agricultura mecanizada entendida como la incorporación de tractores, implementos y equipos de diversa índole para optimizar las labores agrícolas, es una de las características de la tecnología empleada en el valle del Guadalquivir, haciendo de la región una de las más pujantes en cuanto a sistemas de producción de cultivos industriales en España. Sin embargo, los regímenes pluviométricos no le favorecen ya que son erráticos e irregulares, además, y por efecto de las altas temperaturas en la estación de verano, el fenómeno de evapotranspiración se eleva a tal punto que se vuelve mayor que la misma precipitación (ambientes evaporíticos), haciendo que la recarga de agua del suelo que en un momento dado pueda existir no sea suficiente para suplir las necesidades hídricas de los cultivos. Ahora bien, producto del excesivo laboreo, el deterioro de los suelos es evidente, lo que ha venido provocando reducción de su capacidad productiva y aumento del consumo de fertilizantes que en últimas hacen no sostenibles los métodos de producción actuales.

Con el objeto de desarrollar alternativas de laboreo para regiones semiáridas, desde hace unos diez años se viene investigando en la aplicación de nuevos métodos de labranza, que hagan de esta labor una

operación menos agresiva desde el punto ambiental y sostenible. Por esto en Andalucía la investigación que se viene generando, pretende a escala local ofrecer alternativas de laboreo, que conserven el agua, disminuyan la escorrentía y aumenten o sostengan la producción; teniendo en cuenta que dentro de la misma comunidad, un tipo de laboreo no es extrapolable a toda la región.

## **1. ANTECEDENTES**

La labranza desde el punto de vista físico pretende, mediante el uso de herramientas de corte (discos, vertederas o cinceles), crear una gradación de capas de diferentes tamaños de terrón, que se encarguen de transportar agua y aire hacia las raíces, siempre conservando el estado de agregación, condición fundamental a la hora de conferir un medio adecuado para la germinación de la semilla y posterior crecimiento y desarrollo de los órganos de la planta. Esta gradación de capas también busca facilitar la capacidad de exploración de las raíces hacia estratos con mayor humedad, conforme se van agotando las reservas de agua en capas más someras, como consecuencia del fenómeno de la evapotranspiración.

### **1.1. LABRANZA TRADICIONAL**

Es la pionera dentro de los sistemas de labranza, su evolución ha sido desde el arado de chuzo con tracción animal, pasando por la vertedera (invención de JOHN DEERE) y luego la incorporación del tractor como fuente potencia que vendría a sustituir los animales. Si bien es cierto fue el método de preparación de suelos por excelencia en todo el mundo, también lo es que sea el causante de los problemas de erosión y pérdida

de capacidad productiva de los mismos, debido a lo extremadamente invasivo.

Básicamente consiste en el uso riguroso del arado como apero que corta y voltea el suelo (labranza primaria) y luego la grada de discos que con sucesivos pases fragmenta los terrones en otros más pequeños (labranza secundaria); el uso indiscriminado de este último, sin criterio técnico, rompe tanto el terrón que lo desagrega, al punto de reducirlo a polvo; condición indeseable, ya que al ser humedecido, el reacomodamiento de partículas lo sella, anulando la permeabilidad, es decir, la capacidad que tiene el suelo de transportar agua y aire. El método pertenece a las prácticas de labranza limpia; donde el suelo queda desnudo y suelto a merced del arrastre que pueda provocar el agua y el viento.

## **1.2. LABRANZA DE CONSERVACION**

En respuesta a los graves problemas de deterioro ocasionados por la labranza tradicional siendo la erosión y la compactación los principales; se desarrollan nuevos métodos de laboreo que incorporan no solo criterios rentistas sino también ecológicos que preservan el recurso en el tiempo y en el espacio; haciendo del laboreo una operación lo menos agresiva posible en consonancia con el medio ambiente.

La labranza de conservación implica la reducción de las labores, es decir, alterando lo menos posible y dando mayor protección del suelo contra la

erosión, mediante la utilización de coberturas procedentes de los restos de la cosecha anterior, (González, et al, 1988).

Wiermamm (2000) comenta que la agricultura mecanizada implica el tráfico de maquinaria, proceso adverso que compacta el suelo y le reduce productividad. Para solucionar este problema se han desarrollado sistemas alternativos que minimizan este impacto. Dicho autor agrega que los estudios en labranza de conservación (LC), son todavía insuficientes a nivel de los cambios mecánicos que induce esta práctica como alternativa sostenible de producción de cultivos. El condujo en Alemania un experimento durante 25 años, en el que estudió el efecto de la misma sobre las propiedades físicas del suelo. Allí, las parcelas experimentales fueron compactadas, aumentando las cargas dinámicas (número de pases x número de ruedas x peso de las ruedas); las determinaciones se hicieron tanto en campo como en laboratorio. Comprobando una destrucción total de los agregados del suelo en labranza tradicional (LT) y no en LC donde se presentó una resistencia tal que no los destruyó. Eso sí, en ambos tratamientos, el subsuelo se compactó, siendo esta más profunda en LC que en LT.

Uno de los efectos llamativos de no arar, es que la densidad aparente aumenta bajo la profundidad del cultivo, el tamaño de poros disminuye afectando la conductividad hidráulica (K), el desarrollo de raíces y la permeabilidad. El rastrojo conserva humedad, evitando la desecación, existe agua disponible en los primeros 10 cm y produce agregados más

estables, condición ventajosa porque resiste la erosión; la disponibilidad de nutrientes y el contenido de materia orgánica aumenta, como también la actividad de las lombrices (Rasmussen, 1999).

Beneficios de una agricultura rica en rastrojo (CTIC\*, 1998):

- Reducción de labores
- Ahorro de tiempo
- Ahorro en mantenimiento de la maquinaria
- Ahorro de combustible
- Mejora de la productividad a largo plazo
- Mejora de la calidad de las aguas superficiales
- Reducción de la erosión
- Aumento de la humedad del suelo
- Mejora de la infiltración de agua
- Descenso de la compactación del suelo
- Mejora de la estructura del suelo
- Aumento de la fauna
- Reducción de las emisiones de carbono
- Reducción de la polución del aire

### **1.3. CARACTERÍSTICAS RADICULARES DEL TRIGO (*Triticum sp. L.*)**

Por ser una planta monocotiledonea perteneciente a la familia de las gramíneas, el sistema radicular del trigo (*Triticum sp. L.*) es fasciculado.

---

\* Conservation Technology Information Center.

El mayor o menor desarrollo de este órgano de la planta depende de muchos factores, tales como la textura del suelo, situación de la capa freática, época de siembra, mayor o menor cantidad de lluvia caída en las primeras fases de su desarrollo (períodos críticos), variedad, etc., (Guerrero, 1992). El 50% de las raíces se localiza entre los 0 y 25 cm de profundidad, el resto puede llegar a un metro, y en suelos sueltos (arenosos) hasta 1.50 m; en suelos pesados (arcillosos), las raíces penetran menos, ahora, si la capa freática es muy alta o hay demasiada lluvia, el desarrollo de raíces se detiene.

Siembras precoces y de poca pluviosidad, originan crecimientos radiculares de mayor longitud, debido a que se desarrollan en un medio más aireado, es decir, los macroporos cumplen la función de transmitir oxígeno estimulando la capacidad de exploración hacia estratos más profundos y de mayor humedad.

A continuación se comenta brevemente el comportamiento de algunas propiedades físicas del suelo respecto de la labranza, con el objeto de dar una aproximación a los efectos del laboreo sobre las mismas.

#### **1.4. COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA**

Siendo la estructura una propiedad dinámica del suelo, un determinado tipo de labor proporcionará un estado estructural particular, por lo que

interesa estudiar su evolución, al menos durante el período de cultivo (Shipitalo, 1999).

Cada método de laboreo altera la estructura original del suelo, creando una nueva; lo que en sí sucede es que se da un reordenamiento de partículas y pequeños agregados, modificando radicalmente la densidad aparente, conductividad hidráulica, infiltración y permeabilidad.

### **1.5. COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD APARENTE ( $D_a$ )**

Este parámetro es uno de los más fácilmente verificables, aportando información de gran utilidad ya que se pueden obtener otros como contenido volumétrico de agua en el suelo y porosidad, básicamente. Las diferencias estadísticas en la mayoría de los casos favorecen a la labranza tradicional (Morón, 1995; Pelegrín, 1989; Bescansa y col 1998, entre otros), ello se debe al mullimiento que le imprime al suelo y por ende la gran porosidad artificial que adquiere la capa que se altera, no así las inmediatamente subyacentes a esta o interfases, que sufren la compactación de las llantas y en general el tráfico de maquinaria, es aquí donde los valores se pueden tornar iguales o mayores que en el laboreo de conservación (Hoyas, 1994). En no laboreo una densidad aparente alta se puede deber también a la consolidación natural del suelo y/o por el tráfico de maquinaria (Pelegrin y col 1996).

## 1.6. COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

Pelegrin y col. (1996), en un ensayo donde estudió la influencia de los sistemas de laboreo sobre la resistencia a la penetración (RP), concluyeron que esta se comporta de modo diferente según, qué método se emplee, es decir, qué tanto se altere el suelo y a qué profundidad; pero en últimas condicionada esa resistencia a la lluvia que afecta el contenido de humedad ya que contribuye a que las raíces ganen capacidad de exploración y accedan a horizontes inferiores, así la densidad aparente sea alta. Villaú (1997), lo demuestra cuando compara dos campañas de girasol, en donde una de ellas (94/95) registró 245 mm de precipitación y la otra (96/97) contó con un aporte de 718 mm, comprobando que en la campaña más seca, la recarga del perfil hídrico fue más profunda y cercana a la capacidad de campo en la labranza de conservación (LC) y también los rendimientos fueron altos. En la campaña de abundante humedad, donde ambos tratamientos llegaron a la capacidad de campo, el rendimiento fue mayor en labranza tradicional (LT) que en la de conservación (LC). Sin embargo, a medida que se desarrolla el cultivo y el suelo se va compactando por efecto de las labores con maquinaria o la misma actividad de las raíces, los valores se incrementan presentando similitud en ambos sistemas de labranza. Téngase en cuenta que la resistencia a la penetración es función de la humedad del suelo, la densidad aparente y la profundidad (Ehlers, 1982).

## 1.7 COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K)

La literatura reporta que se presentan diferencias significativas cuando se trata de comparar la conductividad hidráulica (K) en suelos alterados con vertedera o discos y los que son sometidos a no laboreo (cincales y siembra directa específicamente). Dichas diferencias favorecen a la vertedera y los discos, debido al hecho de romperlo y seccionarlo, confiriéndole un estado de no-compactación y mayor transporte de agua en la capa afectada por la herramienta de corte. Eso mismo no se puede decir del laboreo de conservación, ya que el suelo es apenas roturado a profundidad por cincales, o no intervenido como en la siembra directa, conservando un estado de compactación natural (exceptuando la huella del tractor) donde los poros son el producto de la agregación de las partículas primarias que a su vez se unen dependiendo del contenido de residuos de cosecha, materia orgánica y arcilla. Ahora bien, la porosidad también es inducida por la actividad biológica de las mismas raíces, lombrices y microorganismos, habitantes naturales del suelo.

Shipitalo (1999), menciona que para comprender los beneficios de la labranza de conservación (LC), necesariamente se debe conocer cómo el cultivo afecta el movimiento del agua. La LC puede influir positivamente a que mayores cantidades de agua circulen a través del perfil, esto se manifiesta en que la lluvia se mueva por caminos o **rutas de flujo preferencial**, contribuyendo a disminuir la escorrentía; incluso, los nitratos se lixivian menos que en laboreo tradicional (LT), circunstancia

que desde el punto de vista agronómico es beneficiosa porque mejora la toma del ion, lo conserva en el suelo, y desde el punto de vista ambiental disminuye tanto su volatilización como la posible contaminación de los acuíferos.

### **1.8. COMPORTAMIENTO DE LA INFILTRACIÓN**

Algo similar sucede cuando se mide la infiltración en sistemas de laboreo tradicional y de conservación, siendo esta mayor en el primero. Ello resulta de la baja densidad aparente y la macroporosidad. No se debe olvidar que según sea el grado de alteración de la superficie, el proceso de infiltración se verá afectado.

### **1.9. EFECTOS DE LA COMPACTACION EN EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS**

Básicamente son dos los efectos que produce la compactación en el desarrollo de los cultivos, los que impiden el desarrollo de la raíz y emergencia de plántulas, y los que provocan cambio de estructura, (Pelegrín, 1989).

El hecho más importante es la reducción de poros y la redistribución de partículas y microagregados, los cuales afectan negativamente la capacidad de aireación e intercambio gaseoso; cambios en la retención de humedad, conductividad hidráulica y temperatura, junto a otros

procesos químicos y biológicos. Sin embargo no cabe duda que la impedancia mecánica en las raíces es afectada solo cuando el suelo tenga poca humedad y nutrientes, factores que comprometen los rendimientos.

#### **1.10. EFECTOS SOBRE EL BALANCE NUTRICIONAL**

La labranza incide tanto positiva como negativamente sobre la toma de nutrientes dependiendo de la arquitectura que se le imprima al suelo, o sea, la gradación u ordenamiento de los macro y microagregados encargados de transportar aire los unos y agua los otros. Dicho factor afecta directamente los procesos de oxido-reducción y por ende, la disponibilidad y entrada de elementos a la planta, pues la retención y flujo de humedad junto con el oxígeno y la temperatura, gobiernan la toma de nutrientes.

Se pueden mencionar a groso modo la influencia del pH sobre la disponibilidad del fósforo; los excesos o déficit de humedad y temperatura sobre la mineralización de la materia orgánica (M.O) y su efecto directo sobre el nitrógeno, azufre y algunos microelementos; algunos coloides como la illita y caolinita sobre la fijación de potasio; entre otros muchos factores, incluidos los de tipo microbiológico, importantes para hacer del suelo un medio vivo, apto para la producción de cosechas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GENERALES**

2.1.1. Evaluar la respuesta de algunas propiedades físicas del suelo a dos métodos de laboreo (tradicional y conservación) y nutrición de un cultivo de trigo *Triticum sp. L.*, en la zona del aljarafe, tras ocho años de aplicación.

### **2.2. ESPECIFICOS**

2.2.1. Determinar los efectos y cambios que sufre la densidad aparente, la conductividad hidráulica, la sorptividad, la resistencia a la penetración y el contenido de humedad, bajo dos sistemas de laboreo (tradicional y conservación) sobre un cultivo de trigo *Triticum sp. L.*

2.2.2. Determinar la incidencia del laboreo (tradicional y conservación), sobre el balance nutricional y sus efectos sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo de trigo, *Triticum sp. L.*

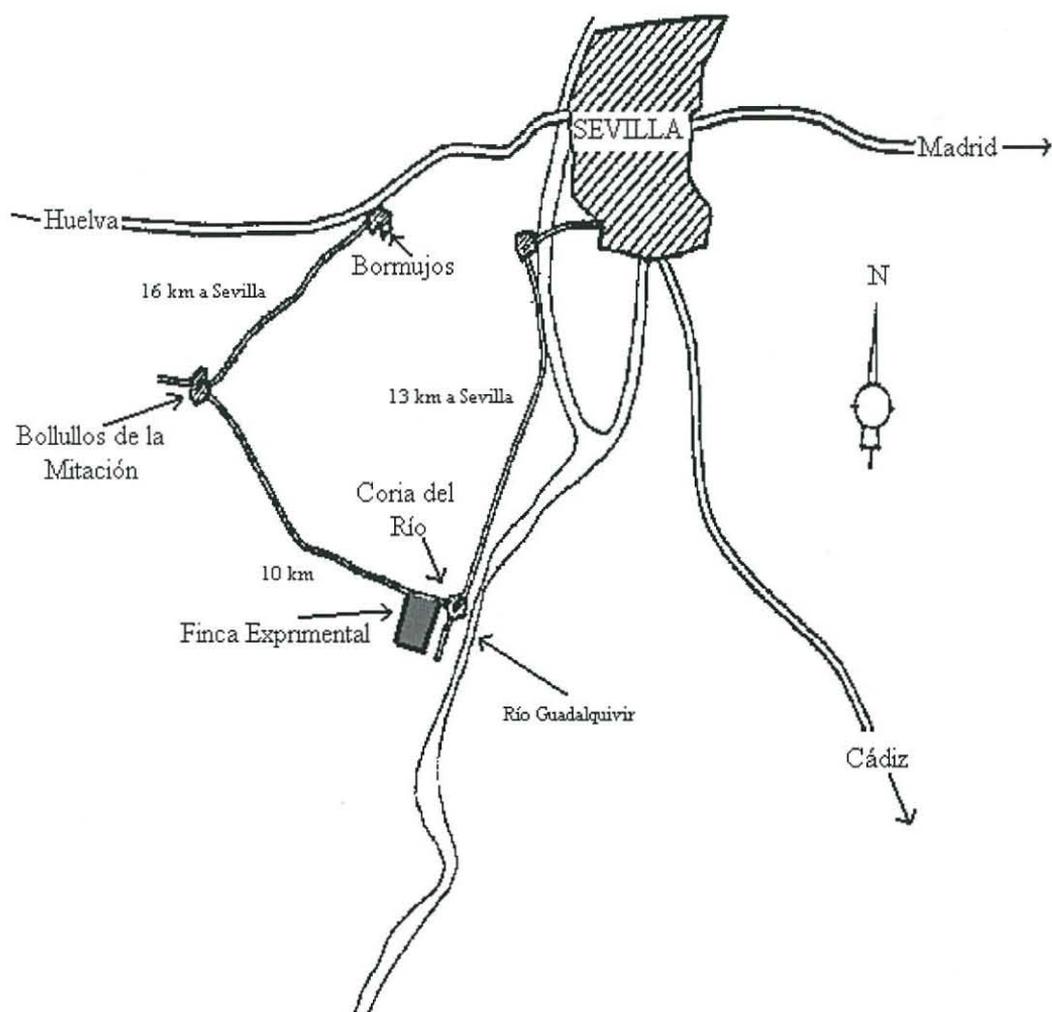
### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

##### 3.1.1. Localización Geográfica

El ensayo fue realizado en la estación experimental “La Hampa” de propiedad del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC); localizada a 0,5 kilómetros del municipio de Coria del Río y distante 13.5 km. de Sevilla, por la carretera Sevilla - Isla Mayor (Figura 1). Sus coordenadas geográficas corresponden a 37° 17' 59" latitud norte y 6° 3' 48" longitud oeste. Otras características del área experimental son (Mudarra, 1988):

- Posición fisiográfica: Valle aluvial
- Forma del terreno: Plano
- Pendiente : < 2 %
- Altitud : 8 m.s.n.m.
- Vegetación natural: Gramíneas, crucíferas...
- Uso : Cultivos de regadío
- Material original: Sedimentos aluviales
- Drenaje : Clase 3 (Moderadamente bien drenado).
- Pedregocidad : Clase 0 (sin piedras)
- Erosión : No se aprecia
- Clasificación : XEROFLUVENT TÍPICO



**Figura 1.** Localización geográfica, estación experimental "La Hampa".

### 3.1.2. Características Fisiográficas de la Zona

Si bien la estación pertenece a la unidad geográfica más representativa de la región, conocida como el Aljarafe Alto, la posición fisiográfica específica del área experimental pertenece al Valle aluvial del Guadalquivir (Mudarra, 1988), lo que la diferencia edafológicamente del relieve ondulado (colinas) que comprende la mayor parte del centro. La descripción del perfil típico se muestra en la Tabla 1.

### 3.1.3. Climatología

La precipitación media anual es de 514 mm, siendo el mes más lluvioso diciembre (111.1 mm) y el más seco julio (0.8 mm), el almacenamiento de agua en el suelo inicia en otoño (mes de octubre), completándose en diciembre-enero, seguido de un periodo de exceso de humedad entre marzo-abril. La temperatura media anual de la zona es de 17°C, julio el mes más cálido (33.5°C) y enero el más frío (5.2°C). Según la clasificación de Thornthwaite, el clima de la región es mesotérmico-seco-subhúmedo, con moderado exceso de agua en invierno (Mudarra, 1988).

**Tabla 1.** Descripción de perfil típico, lote laboreo. Coria del Rio. (Mudarra, 1988).

Horizonte	profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en húmedo, pardo grisáceo (10 YR 4/2) en seco; franco-arcilloso; estructura poliédrica subangular, fina y mediana, moderadamente desarrollada con ligera tendencia a columnar; plástico, friable a firme, duro; muchos poros muy finos; calizo; pocas raíces muy finas muy pocas finas; buena actividad biológica; se observa la presencia de algunos fragmentos de arenisca mediana y fina; límite gradual.
C	30-70	Pardo grisáceo oscuro a pardo oscuro (10 YR 4/2, 4/3) en húmedo, pardo grisáceo (10 YR 5/2) en seco; franco-arcilloso; estructura masiva, gruesa, moderada a fuertemente desarrollada con tendencia a primática o columnar; plástico, firme, duro; frecuentes poros medianos y gruesos, discontinuos; calizo; frecuentes raíces muy finas, discontinuas; moderada actividad biológica; alguna arenisca aislada; límite gradual.
IIC	>70	Pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo, pardo amarillento claro (10 YR 6/4) en seco; franco-arcillo-arenoso; estructura masiva con tendencia a particular; muy friable, suelto; muchos poros muy finos, exped, y frecuentes medianos y gruesos, discontinuos; calizo; ninguna o muy pocas raíces; actividad biológica nula; frecuentes nódulos ferruginosos.

### 3.2. DENSIDAD APARENTE

Empleando la barrena de cilindros, diseñada por Arrúe y Moreno (1980), que consiste en una pila de cuatro cilindros de acero inoxidable, con un volumen de 201 cm<sup>3</sup> (8 cm de diámetro y 4 cm de altura), siendo el superior de menor altura (2 cm), el cual al ser tomada la muestra se descarta, lo mismo sucede con la parte inferior. Dicha herramienta permite tomar muestras inalteradas de suelo enterrándola hasta 16 cm, cada vez. Para cada tratamiento hubo tres puntos de muestreo a dos profundidades 0-16 cm y 16-32 cm. La densidad resulta de relacionar el peso seco de la muestra con el volumen del cilindro.

### 3.3. MEDIDA DEL AGUA EN EL SUELO

#### 3.3.1. Método Gravimétrico

Consiste en pesar las muestras de suelo tal cual se toman en campo, posteriormente someterlas a secado en estufa a 105 °C durante 24 horas, y luego volverlas a pesar; el resultado se reporta en porcentaje de base seca, empleando la fórmula:

$$CH = \frac{\text{Peso Suelo Húmedo (g)} - \text{Peso Suelo Seco (g)}}{\text{Peso Suelo Seco (g)}} \times 100$$

Para obtener el contenido volumétrico, solo se necesita relacionar el contenido gravimétrico con la densidad aparente de cada profundidad.

$$D_a = \frac{\text{Peso del Suelo Seco (g)}}{\text{Volumen del Suelo (cm}^3\text{)}}$$

### 3.3.2. Barrena de Media Caña

Esta herramienta la constituye un tubo acerado de 105 cm, no cilíndrico en su totalidad, con el objeto de facilitar el muestreo; graduado cada 10 cm y una longitud útil de toma de muestras de 100 cm. La barra en su extremo superior posee un borde macizo con un agujero transversal que recibe los golpes dados con un mazo de nylon que la introduce en el suelo y que luego, con la ayuda de una varilla se gira para atrapar la muestra y sacarla. Las muestras se disponen en cápsulas metálicas, que serán pesadas y posteriormente sometidas a 105 °C en estufa, con el objeto de conocer su humedad.

### 3.3.3. Sonda de Neutrones

Aprovechando la propiedad que tienen los átomos de hidrógeno de reducir sensiblemente la velocidad de los neutrones rápidos y dispersarlos; se puede calcular el contenido de agua en el suelo y además observar la evolución de los perfiles hídricos.

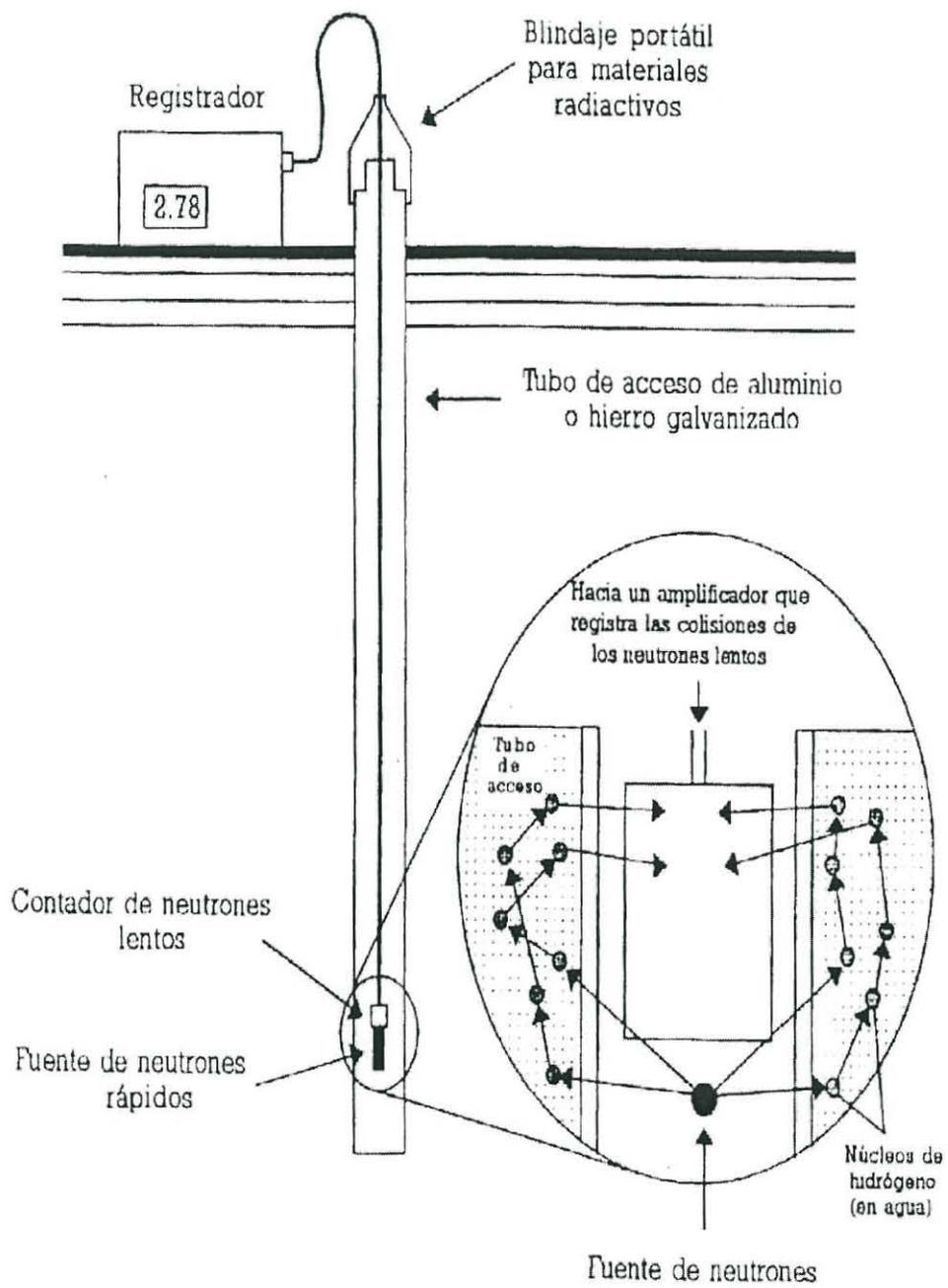
Básicamente el aparato es una fuente de neutrones rápidos (americio 241 - berilio) y un detector de neutrones lentos, conectados a una sonda (Figura 2). Dicha sonda al ser introducida en el suelo, emite neutrones rápidos que colisionan con los átomos de hidrógeno de las moléculas de agua, cambiando su trayectoria y como consecuencia disipando su energía. Los neutrones lentos son medidos por el detector. La sonda utilizada ha sido una TROXLER modelo 3333.

En cada tratamiento se encuentran dispuestos dos puntos de acceso hasta una profundidad de 2,30 metros, revestidos con tubo galvanizado de 39 mm de diámetro interior que han venido siendo utilizados desde el inicio del proyecto. En cada punto se tomaron 21 datos cada 10 cm, partiendo del fondo hasta llegar a 20 cm, estos últimos por motivos de seguridad fueron determinados gravimétricamente, debido al carácter radiactivo de la fuente de emisión.

### **3.4. RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN**

La resistencia a la penetración puede ser representada de dos maneras (Hoyas, 1994):

- Como la fuerza requerida para causar la penetración, por unidad de superficie de la punta.

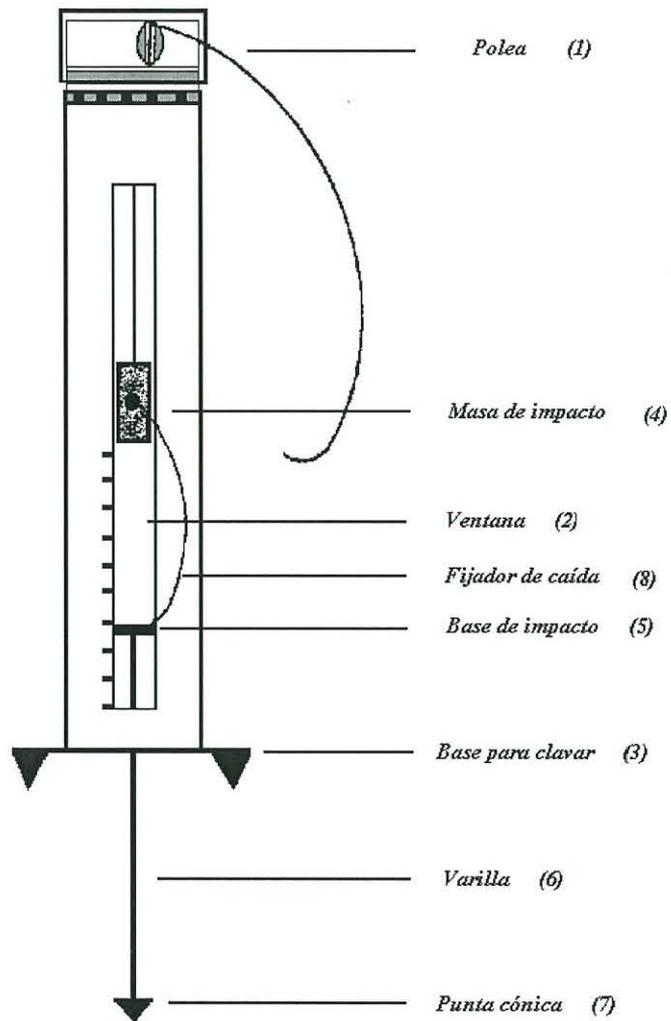


**Figura 2.** Esquema de funcionamiento, sonda de neutrones.

- Como la energía requerida para causar la penetración, por unidad de profundidad del suelo.

Para la determinación de esta variable se utilizó el penetrómetro de impacto vertical con tubo guía (Figura 3) diseñado por Pelegrín (1993); el cual se compone de las siguientes partes:

- Un tubo metálico que en su parte superior lleva una polea, la cual guía una cuerda que a su vez soporta una masa de 2,040 kg. ubicada dentro del tubo, la cual sube y baja. Además, a lo largo del tubo va una incisión en forma de ventana, la cual está graduada con el objeto de ir observando la penetración de la punta. En la parte inferior del tubo existe una plataforma rectangular con cuatro puntas para clavar en el suelo y así lograr la mayor perpendicularidad posible, condición básica a la hora de realizar las determinaciones.
- La masa está sujeta por medio de tornillos a una base de impacto de 0,525 kg, con una tira de cuero de 30 cm, es decir, que se define un espacio libre entre la masa y la base de impacto de 30 cm, misma que viene a ser la altura de caída; dicha altura de caída puede ser modificada empleando tiras más largas o cortas, según la dureza del suelo.
- El aparato se opera, primero, asegurándolo al suelo por medio de las puntas que tiene la plataforma, garantizando la mayor perpendicularidad



**Figura 3.** Penetrómetro de impacto vertical con tubo guía

posible; luego, se observa en la ventana graduada qué tanto ha penetrado la punta por su propio peso (base de impacto + varilla + punta). Partiendo de esto y teniendo como referencia el tornillo de la base de impacto, se empieza a tirar de la cuerda hasta estirar la banda de cuero y luego se suelta.

El registro que se lleva, consiste en contar el número de golpes que se necesitan para que la punta cónica penetre cinco centímetros. Luego, se transforman a unidades de presión (MPa) mediante un factor de transformación. El factor de transformación viene determinado por el peso de la masa que impacta ( $m$ ), la altura de caída de esta masa ( $h$ ) y la sección de la punta utilizada en cada caso ( $p$ ).

Partiendo de que el choque producido es inelástico, toda la energía al penetrar la punta se consume. Siendo así, la velocidad de caída ( $v_c$ ) viene dada por la ecuación:

$$v_c = \sqrt{9.8 h m} \quad (1)$$

La velocidad después del choque inelástico ( $v_i$ ) viene dada por la ecuación:

$$v_c * m * v_b * m_b = m_t * v_i \quad (2)$$

Donde :

$m_b$  = masa da la varilla + masa de la punta

$v_b$  = velocidad de impacto de  $m_b$

$m_t$  = masa de impacto + masa de la varilla

$v_i$  = velocidad después del choque

Ahora, la energía cinética después del impacto viene dada por la ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2} * m_t * v_i^2 \quad (3)$$

Al penetrar 5 cm, esta energía cinética se transforma en trabajo según la ecuación:

$$E_c * n = 0.05 * RP \quad (4)$$

Donde :

$n$  = número de golpes

$RP$  = resistencia a la penetración en Newtons

0.05 = penetración en metros

Transformando el trabajo, en presión ejercida por unidad de superficie, según la punta utilizada, resulta la ecuación:

$$IC = \frac{RP}{S * 10^{-4}} \quad (5)$$

Siendo:

IC = índice de cono en  $N/m^2$

S = sección de la punta ( $cm^2$ )

RP = resistencia a la penetración en MPa

La anterior expresión convierte la RP en megapascales (MPa)

Sustituyendo la ecuación (4) en (5) se obtiene la siguiente expresión:

$$I_c = 0.736 * n \cong 0.75 * n \quad (6)$$

Donde  $I_c$  está expresado en MPa, por lo tanto se puede transformar el número de golpes según la Tabla 2.

**Tabla 2.** Coeficientes de transformación, número de golpes a unidades de presión (MPa). Penetrómetro de impacto vertical con tubo guía.(Pelegrín, 1993)

<i>Altura de caída</i>	<i>Sección de la punta (pulg<sup>2</sup>)</i>	<i>Coeficiente (MPa)</i>
50	0.2	1.25
	0.5	0.50
30	0.2	0.75
	0.5	0.30

### 3.5. MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.

3.5.1. Infiltración Bajo Carga Negativa (Método del Infiltrómetro de Disco):

Teniendo en cuenta que la infiltración es el fenómeno por el cual el agua penetra desde la superficie a los diferentes horizontes del suelo, es lógico

pensar que el método de laboreo incida en forma determinante sobre esta. Ahora, y como lo hace notar Hoyas (1994), siempre que se mide en campo el flujo de agua en la zona radicular se presenta una condición de subsaturación, es decir, que si el suelo pierde saturación, algunos poros pierden agua llenándose de aire, siendo los macroporos los que más agua conducen y los primeros que se vacían al aplicar una succión; con la consecuente disminución de la conductividad hidráulica. Si a lo anterior se agrega que los macroporos tienen una naturaleza frágil, esto obliga a que los datos más fiables sean los realizados directamente en campo, o sea, en suelo sin alterar, (Hoyas, 1994).

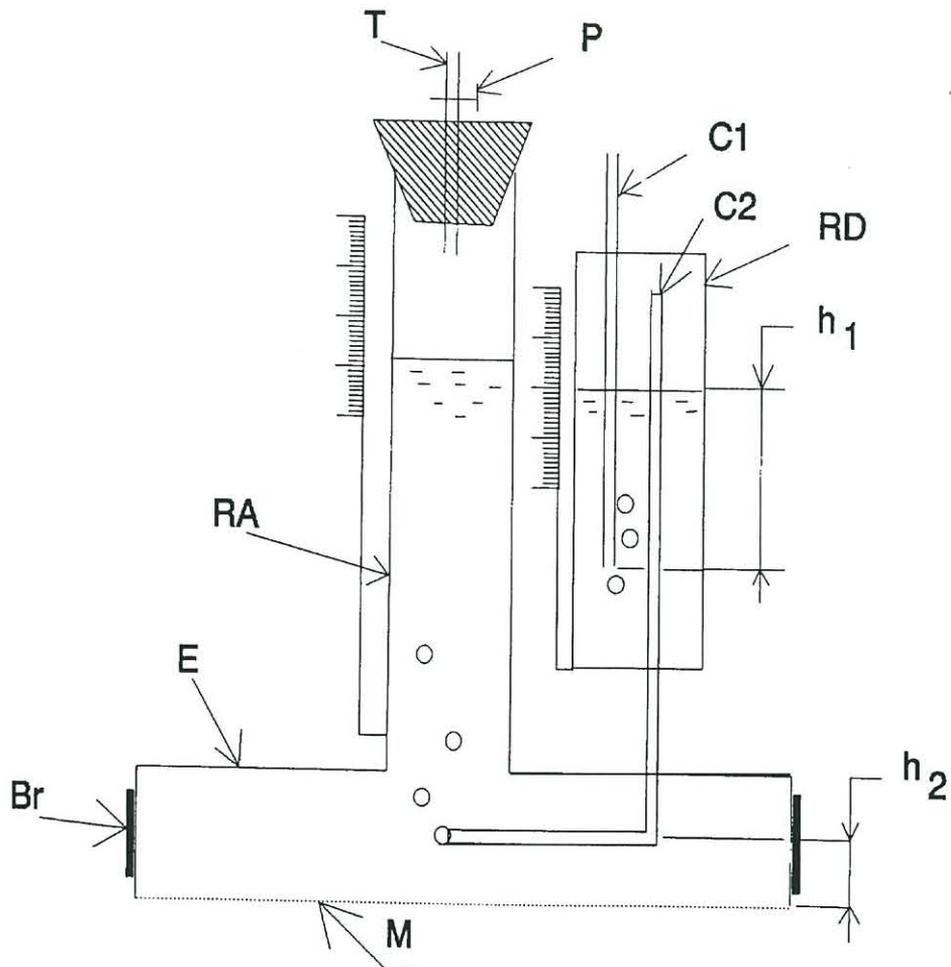
Las determinaciones se realizaron con el infiltrómetro de disco (Clothier y White, 1981; Perroux y White, 1988), instrumento que mide tanto la conductividad hidráulica como la sorptividad en estados saturados y subsaturados del suelo, bajo succión constante (Figura 4). En cada parcela de laboreo se tomaron tres puntos de observación.

El infiltrómetro empleado fue el diseñado por Perroux y White (1988), que básicamente se diferencia por el radio de la base que hace contacto directo con el suelo; para el caso, fue uno de  $r = 12,5$  cm.

Consta de una base circular (E), cubierta por una malla de nylon de 20 micras de luz y alta conductividad hidráulica (Figura 5); dicha malla está sujeta por una banda de caucho (Br), que la mantiene tensa y hermética. Encima de la base se acoplan dos depósitos cilíndricos graduados,

Figura 5. Permeámetro de disco





**C1:** Capilar móvil para ajustar el potencial

**C2:** Capilar de aireación

**RA:** Depósito de alimentación

$$h_o = h_2 - h_1$$

**RD:** Tubo de Mariotte

**T:** Tubo de llenado

**M:** Malla de nylon

**$h_o$  es negativa para  $h_1 > h_2$**

**P:** Pinza de Mohr

**E:** Base del permeámetro

**Br:** Sujetador de goma para la malla de nylon

**Figura 5.** Esquema explicativo del Permeámetro de Disco

conteniendo agua; uno de ellos, el más largo posee en su parte superior un tapón, atravesado por el centro por un tubo, que a su vez va unido a una manguera de plástico, estrangulada por una pinza de Mohr (P).

Al lado de este depósito y fijado también a la base circular (disco) se encuentra un dispositivo de Mariotte (RD), encargado de controlar las succiones, este viene graduado y lleva introducido un tubo capilar ( $C_1$ ), con el cual se controla el potencial (succión).

La presión ejercida en la malla de la base se puede determinar por la expresión:

$$h_o = h_2 - h_1 \quad (7)$$

Donde  $h_1$  corresponde a la altura de la columna de agua sobre el extremo superior del tubo  $C_1$ , mientras que  $h_2$  es el desnivel entre el extremo inferior del tubo  $C_2$ .

La altura alcanzada por el extremo superior del tubo  $C_1$  respecto del nivel de agua alcanzado en el recipiente RD, determinará el valor de la succión.

### 3.5.2. Modo de Operación

Se selecciona y prepara la superficie de suelo con el objeto de establecer estrecho contacto entre la base del permeámetro y el suelo, ello se logra eligiendo una superficie lo más horizontal posible, si es necesario prepararla, procurar alterarla lo menos posible con el objeto de que las lecturas tomadas sean confiables. Posteriormente se coloca una delgada capa de arena fina igual a la superficie cubierta por la base del permeámetro, para garantizar el contacto entre este y el suelo.

Se fija la succión deseada, según criterios previos, para el caso estas fueron  $\psi = -5$ ,  $\psi = -30$ ,  $\psi = -80$ ,  $\psi = -120$  mm, en ambos tratamientos.

La experiencia se inicia teniendo en cuenta que en el disco del permeámetro no existan burbujas de aire, se anota el nivel que tiene el agua en el depósito de alimentación, se instala el permeámetro en la superficie seleccionada y se toman lecturas del cambio de nivel de agua con respecto al tiempo, hasta obtener variaciones constantes en el nivel del agua con el tiempo, es decir, hasta que se alcance el régimen estacionario.

Antes y después de cada ensayo se determina la humedad del suelo hasta una profundidad de cuatro centímetros, con la ayuda de cilindros de muestreo.

El fundamento teórico del método que permite calcular (K) y la sorptividad (S) a diferentes succiones, se basa en la ecuación de infiltración en régimen permanente a partir de una superficie circular a una determinada succión  $h_0$ . Obtenida por Wooding en 1968 es el siguiente:

$$q_0 = K + 4 \frac{\Phi}{\pi} \times \frac{1}{r} \quad (8)$$

Donde K es la conductividad a la succión  $h_0$ , r el radio del disco y  $\Phi$  es el potencial de flujo matricial, definido por la integral (Raats y Gardner, 1971):

$$\Phi_0 = \int_{\Psi_0}^{\Psi_n} K(\Psi) d\Psi = \int_{\theta_0}^{\theta_n} D(\theta) d\theta \quad (9)$$

Donde  $\Psi_n$  y  $\Psi_0$  representan respectivamente los potenciales para el contenido de agua inicial  $\theta_0$  y final  $\theta_n$  y  $D(\theta)$  es la función de difusividad del agua en el suelo.

En la ecuación (8) existen dos incógnitas, K y  $\Phi$ , las cuales pueden ser determinadas si se conocen los valores de infiltración en régimen permanente  $q_0$  de dos experiencias realizadas con la misma succión e igual contenido inicial de agua en el suelo y con dos permeámetros de radios diferentes.

El método seguido es el propuesto por Ankeny et al. (1991) el cual solo utiliza un permeámetro y por lo tanto el radio es constante y asume una relación entre  $K$  y  $\Phi$  dada por:

$$\alpha = \frac{K(\Psi)}{\Phi(\Psi)} \quad (10)$$

de forma que a través de un rango de potencial (o succión) entre  $\psi_1$  y  $\psi_2$  (Philip, 1985), asume una relación entre  $K$  y  $\psi$  de forma exponencial,

$$K(\Psi) = K_s e^{\alpha} \quad (11)$$

donde la conductividad hidráulica está aparentemente saturada  $K_s$ , en el intervalo de la presión aplicada  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ , y es posible determinar con bastante exactitud las características hidráulicas del suelo. Entonces para los estados de flujo estacionario, cada presión puede ser medida a partir de un disco de radio  $r$ , pudiendo ser descrita a partir de la ecuación de Wooding:

$$q_1 = \left(1 + \frac{4}{\alpha\pi r}\right) K_1 \quad (12) \quad \text{y} \quad q_2 = \left(1 + \frac{4}{\alpha\pi r}\right) K_2 \quad (13)$$

donde  $K_1 = K(\psi_1)$  y  $K_2 = K(\psi_2)$ . El parámetro  $\alpha$  es constante en un intervalo de potencial de presión  $\psi_1, \psi_2$  y por lo tanto puede ser calculado a partir de las ecuaciones (12, 13, 14).

$$\alpha = \frac{\ln(K_1/K_2)}{\Psi_1 - \Psi_2} = \frac{\ln(q_1/q_2)}{\Psi_1 - \Psi_2} \quad (14)$$

En las ecuaciones 15 y 16,  $q_1$  y  $q_2$  representan una emisión uniforme en el flujo estacionario para un mismo radio de disco, pero para dos potenciales aplicados consecutivamente. Entonces las propiedades hidráulicas y el potencial mátrico pueden determinarse directamente por las expresiones:

$$K_1 = \frac{q_1}{1 + \frac{4}{\alpha \pi r}} \quad (15) \quad \text{y} \quad K_2 = \frac{q_2}{1 + \frac{4}{\alpha \pi r}} \quad (16)$$

$$\Phi_1 = \frac{K_1}{\alpha} \quad (17) \quad \text{y} \quad \Phi_2 = \frac{K_2}{\alpha} \quad (18)$$

Ankeny et al., (1991), indican que el  $\alpha$  estimado no siempre permanece constante, a medida que el potencial del agua decrece en suelos estructurados (Clothier and Smetten, 1990) ni en los suelos con costras (Vandervaere et al., 1994).

A partir de aquí se puede determinar el valor de la sorptividad ( $s$ ) con la expresión:

$$S^2 = (\theta_0 - \theta_n) \frac{\Phi}{b} \quad (19)$$

donde  $\theta_0 - \theta_n$  es la variación del contenido volumétrico de agua y  $b = 0.55$  (White y Sully, 1987).

Las medidas de  $S$  y  $K$ , pueden ser utilizadas para calcular otros parámetros como el radio medio de poro ( $\lambda_m$ ) utilizando la teoría de la capilaridad (Philip, 1987).

$$\lambda_m = 13.5 (\theta_0 - \theta_n) K_0 S_0^{-2} \quad (20)$$

También se puede calcular el tiempo gravimétrico, que se define en un proceso monodimensional como el tiempo a partir del cual la gravedad domina el proceso de la infiltración, viene dado por la expresión:

$$t_{\text{grav}} = (S_0 / K_0)^2 \quad (21)$$

### 3.6. ANALISIS NUTRICIONAL

Para el seguimiento de este parámetro se tomaron muestras al azar a inicio de ahijamiento e inicio de espigamiento con el fin registrar los cambios que se fueran dando respecto del balance nutricional y toma de nutrientes en cada etapa de crecimiento y desarrollo del cultivo.

El material recolectado se discriminó en hojas y parte aérea, estas fracciones se llevaron a secado de estufa a unos 70°C que una vez secas fueron llevadas a molienda, reduciéndola a polvo muy fino y homogéneo. Las muestras fueron empacadas en sobres Pergut, debidamente etiquetados según tratamiento y fracción (aérea u hojas), para luego ser guardadas en desecador.

#### 3.6.1. Determinación de Nitrógeno

Fue empleado el método Kjeldahl, el cual no incluye el análisis de determinadas formas de N, como nitratos, por lo que en realidad no debe hablarse de N total (Jones y Case, 1990), sino de N orgánico total, este incluye N protéico, uréico y amoniacal, aunque en si representa casi todo el N que hay en la planta.

El método se basa en la digestión del material vegetal con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y un catalizador de selenio (Se), que transforma el N en N amoniacal; este último es determinado en un autoanalizador, según la

reacción de Berthelot, en la que se forma un complejo de azul de indofenol cuando el amonio reacciona con el fenato sódico tras la adición de NaClO.

### 3.6.2. Digestión de la Muestra para el Análisis de los Restantes Nutrientes

Las muestras vegetales fueron digeridas con HNO<sub>3</sub> concentrado, mediante digestión húmeda, y bajo presión, en un sistema micro-ondas (Modelo, ETHOS 900). El análisis posterior (P, S, Ca, Mg, Na, Si, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni y B) se realizó llevando los extractos obtenidos para la digestión a un volumen final de 50 ml, del que se tomó una alícuota (desde un distribuidor automático de muestras), para su lectura en un ICP – OES\*

## 3.7. MEDIDAS EN EL CULTIVO

### 3.7.1. Altura de Plantas

Esta variable constituye un dato importante por simple que parezca porque manifiesta el estado de crecimiento y desarrollo de la planta como individuo y en general del cultivo, ya que el estado físico del suelo incide en la magnitud de su expresión y por ende de producción de la especie.

---

\* Inductively Coupled Plasma – Espectrómetro de Emisión por Plasma Inductivamente Acoplado.

El seguimiento de este parámetro se realizó recolectando muestras al azar en cada visita, 30 plantas por tratamiento, midiendo desde la base del tallo hasta la parte más alta de la planta.

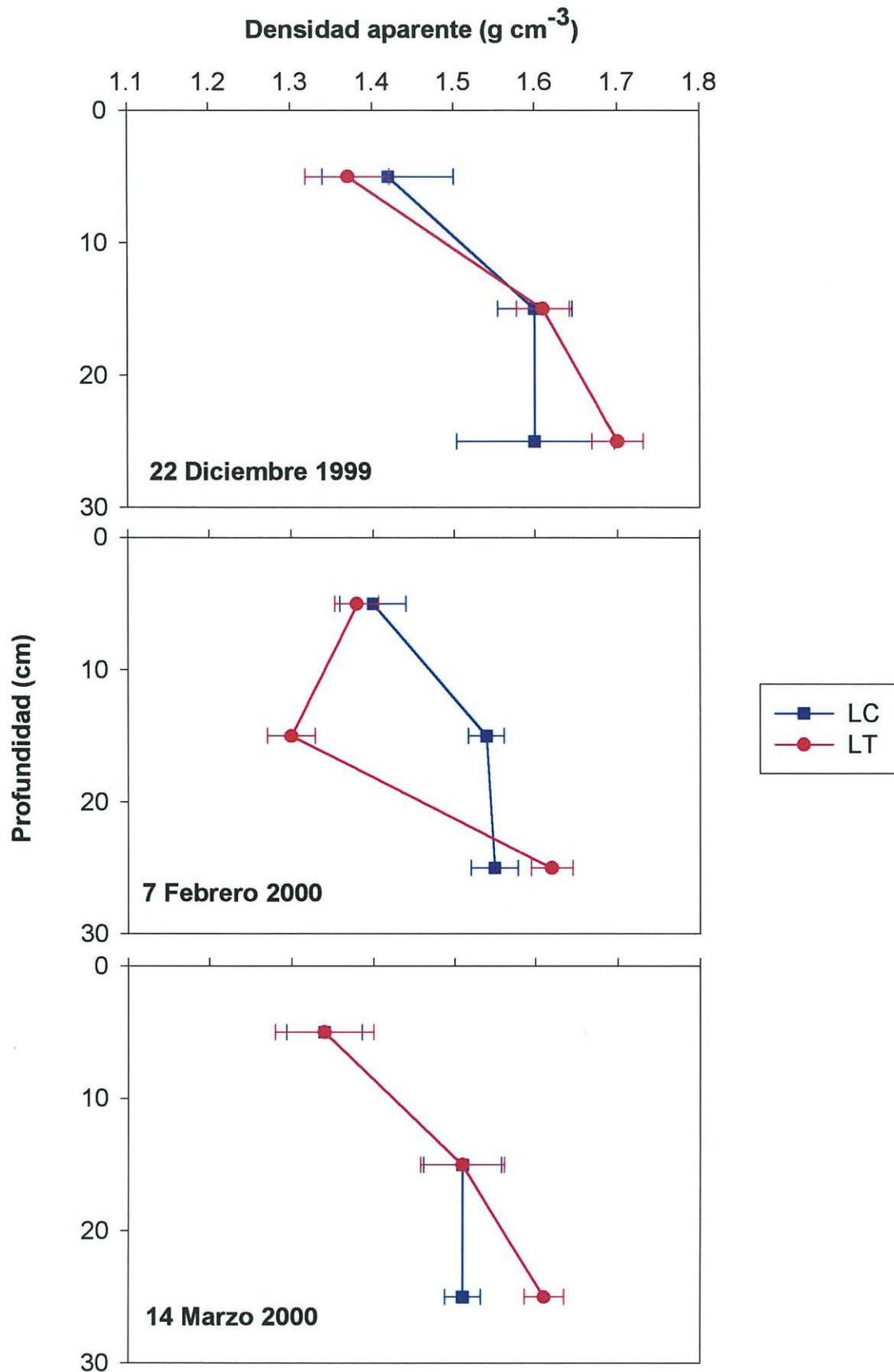
### 3.7.2. Cosecha

Para tal efecto, se cosechó un metro cuadrado en cada repetición, separando las espigas y luego el grano del resto de la planta, posteriormente se pesó tanto el grano como la paja. Adicional a esto, también se cuantificó el peso de 1000 granos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. DENSIDAD APARENTE

Ambos tratamientos incrementaron su densidad aparente ( $D_a$ ), conforme transcurre el tiempo y aumenta la profundidad (Figura 6), solo que LT lo hace con mayor magnitud que LC, observándose diferencias significativas en las dos últimas lecturas, la del 07-02-00 en la capa que va de 0-20 cm, donde de tener  $1.38 \text{ gcm}^{-3}$ , decrece a  $1.30 \text{ gcm}^{-3}$ , para luego aumentar bruscamente a 1.62 (Tabla 3). No es muy claro este comportamiento, sin embargo la explicación puede deberse a que en el sitio de muestreo el suelo pudiera haber estado más suelto por efecto combinado del laboreo y la acción exploradora de las raíces en busca de humedad, situación que se sustenta por el reducido valor del error estándar (0.029); ahora, debe tenerse en cuenta que el suelo intrínsecamente es dinámico y cambia espacialmente en toda su extensión. La otra diferencia significativa se presenta en la lectura del 14-03-00, en la capa que va de 20-30 cm, donde LT aumenta su  $D_a$  a valores de 1.61, mientras LC se mantiene en 1.51. La tendencia típica es que en la superficie LT posea menor  $D_a$  que LC, por el orden de 1.35 y en LC superior a  $1.4 \text{ gcm}^{-3}$ ; pero en la capa de 10-30 cm LT aumente sus valores hasta ser superiores a 1.6, mientras que LC decrece un poco, y de tener al principio del cultivo  $1.6 \text{ gcm}^{-3}$ , disminuya a 1.5 en promedio.



**Figura 6.** Evolución de la densidad aparente, para un suelo sometido a dos métodos de laboreo (LT = tradicional; LC =conservación) bajo un cultivo de trigo. Campaña 99/00. Los puntos representan las medias de tres repeticiones y las barras horizontales el error estándar.

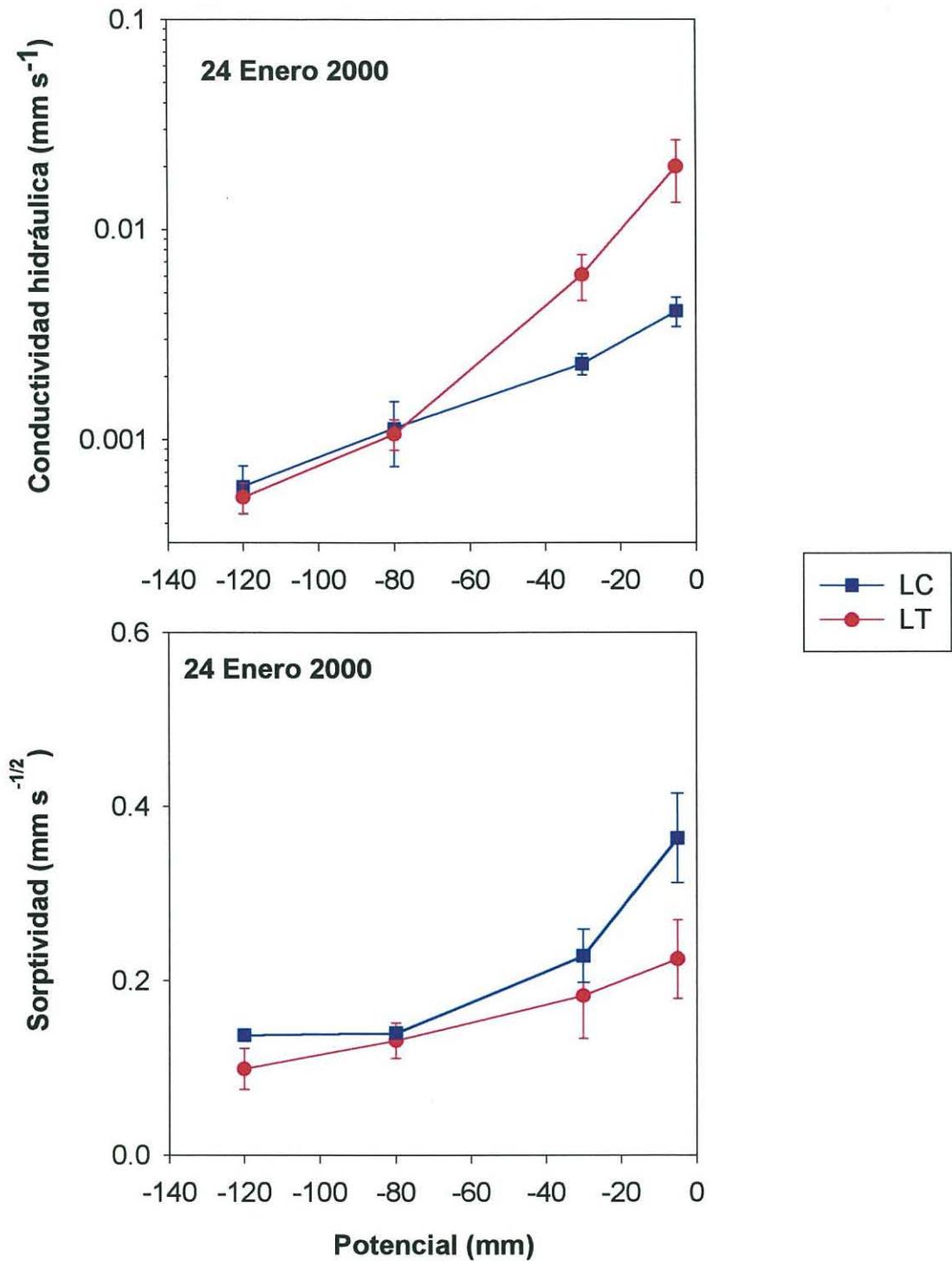
**Tabla 3.** Densidad aparente (Da) y contenido de humedad para un suelo sometido a dos métodos de laboreo (LC = conservación; LT = tradicional). Coria del Río.

Fecha	Profundidad (cm)	Tratamiento			
		LC		LT	
		Da (gcm <sup>-3</sup> )	$\theta$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Da (gcm <sup>-3</sup> )	$\theta$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
22-12-99	0-10	1.42	0.2272	1.37	0.2175
	10-20	1.60	0.2512	1.61	0.2657
	20-30	1.60	0.2519	1.70	0.2626
07-02-00	0-10	1.40	0.2283	1.38	0.2098
	10-20	1.54	0.1501	1.30	0.2364
	20-30	1.55	0.2283	1.62	0.2352
14-03-00	0-10	1.34	0.1983	1.34	0.1237
	10-20	1.51	0.1269	1.51	0.1724
	20-30	1.51	0.1266	1.61	0.1231

Finalmente, las diferencias significativas manifiestan que la densidad aparente (Da) en laboreo tradicional disminuye en las capas superficiales del suelo (0-20 cm), pero en las capas subsuperficiales esta propiedad muestra valores más altos que son característicos de la suela de labor; en contraste, el laboreo de conservación manifiesta alta compactación en la superficie y menor en las capas subsuperficiales, fenómeno reportado en anteriores estudios.

#### 4.2. CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Los resultados de las medidas realizadas el 24-01-00 (Figura 7), mostraron que la conductividad hidráulica (K) fue mayor en LT que en LC para los potenciales de  $\psi = -5$  y  $-30$  mm de succión, siendo significativamente diferentes en este rango. Básicamente el hecho se puede atribuir a que el suelo mantiene las características de laboreo



**Figura 7.** Variación de la conductividad hidráulica y sorptividad vs potencial de presión para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo (LT = tradicional; LC = conservación), bajo un cultivo de trigo. Campaña 99/00. Los puntos representan las medias de tres repeticiones y las barras horizontales el error estándar.

conferidas por el arado y la grada. Dicha alteración afecta la porosidad, aumentándola, aunque para esta época ya existe cierto grado de consolidación o empaquetamiento de la matriz, eso sí, mucho menor que en LC, por lo que el agua se puede desplazar por dicho medio poroso sin dificultad. Para los otros dos potenciales K resultó ser igual en ambos tratamientos, siempre disminuyendo a medida que aumenta la succión.

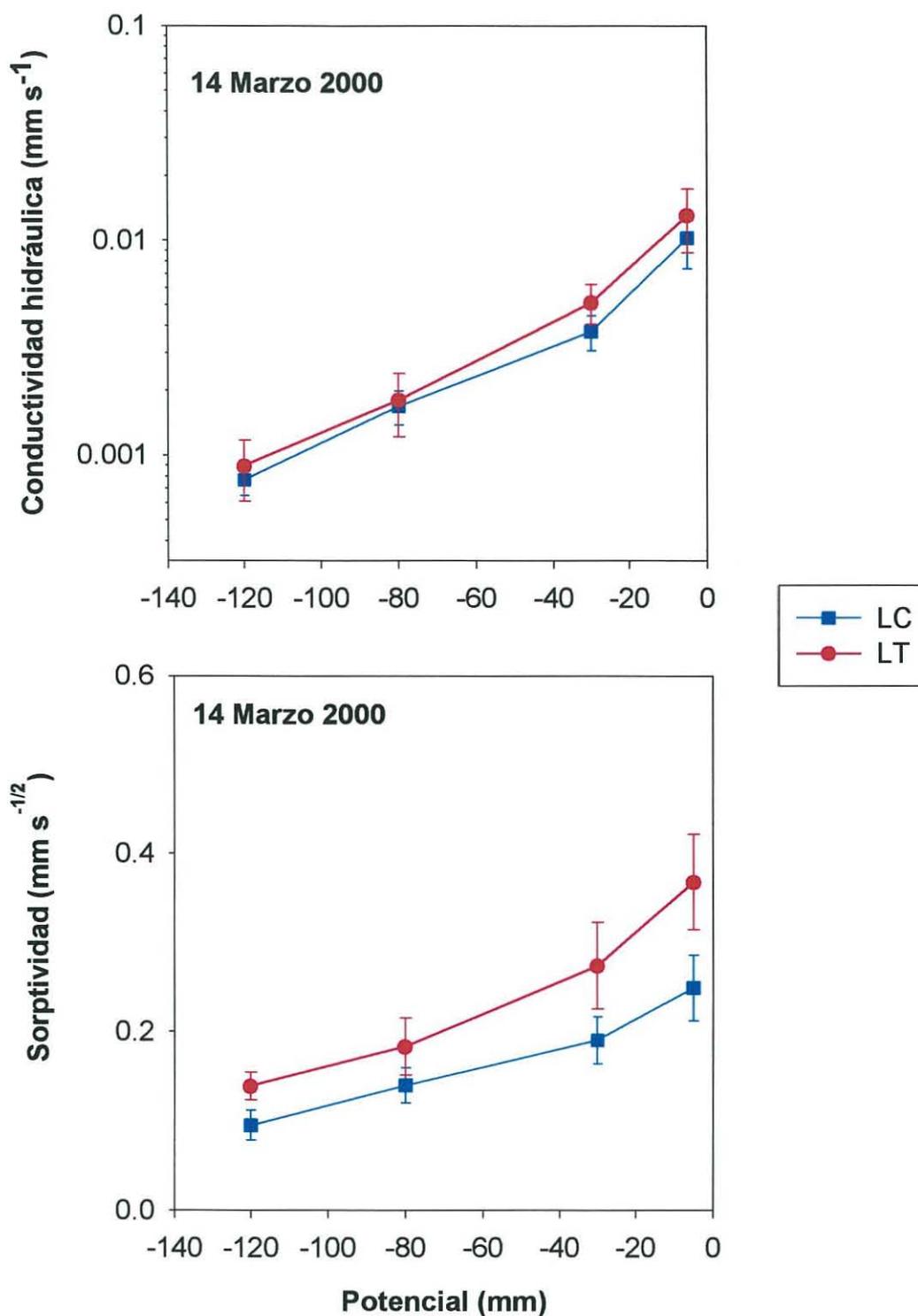
Respecto de la sorptividad (Figura 7), los elevados tiempos gravimétricos (Tabla 4), hacen notar que es el fenómeno que en ambos tratamientos gobierna el movimiento de agua, es decir, el flujo no es descendente sino multidimensional (no actúa la gravedad) indicando un gran contenido de microporos. Complementando lo anterior, el diámetro medio de poro viene a ser en LT, casi el doble de LC para las dos primeras succiones ( $\psi = -5$  y  $-30$ ), no siendo lo mismo en las dos siguientes ( $\psi = -80$  y  $-120$ ), allí el diámetro medio es similar (Tabla 4).

**Tabla 4.** Valores medios de las propiedades hidráulicas de un suelo, sometido a dos métodos de labranza, (24-01-00). Coria del Rio, primera lectura.

Trat/to	$\psi$ (mm)	K ( $\text{mms}^{-1}$ )	$\Phi$	S ( $\text{mms}^{-1/2}$ )	$t_{\text{grav}}$ (min)	$\lambda$ (mm)
	-5	0.004	0.235	0.225	66	0.159
LC	-30	0.002	0.161	0.183	110	0.134
	-80	0.001	0.081	0.132	373	0.104
	-120	0.001	0.044	0.099	722	0.110
	-5	0.020	0.449	0.364	12	0.315
LT	-30	0.006	0.174	0.229	31	0.266
	-80	0.001	0.068	0.140	538	0.143
	-120	0.001	0.065	0.138	1261	0.068

La Figura 8 muestra para la segunda lectura (14-03-00) cómo la conductividad es similar en ambos tratamientos, es decir, disminuye conforme el potencial también lo hace, siendo un poco más pronunciada tanto para en LT como para LC en el rango de  $\psi = -5$  a  $-30$  mm, sin que se aprecien diferencias significativas en ningún rango de potencial. En la Tabla 5, se observa un leve cruce de tendencias, donde LC pasa a ser un poco mayor sin que sean significativamente diferentes; ello probablemente se explica a las condiciones de poca saturación que LT tenía en ese momento. En este caso, también la sorptividad maneja el fenómeno de transporte de agua (Figura 8), que se corrobora con los elevados tiempos gravimétricos en ambos tratamientos y los bajos valores de diámetro medio de poro, indicando mayor cantidad de microporos (Tablas 4 y 5).

Analizando en conjunto las dos lecturas realizadas (enero/marzo), claramente se observa la evolución favorable de la K para LC, en este tratamiento la conductividad hidráulica se incrementó en más del doble para  $\psi = -5$  mm (Tabla 5); ello se puede aducir a la actividad de las raíces en la construcción de bioporos húmedos cuya estructura es más estable y de mayor diámetro lo que favorece el transporte de agua; no sucede así con LT, donde la K se redujo en aproximadamente la mitad, salvo el caso de  $\psi = -80$  mm. que se incrementó el triple, pasando de  $0.001$  a  $0.003 \text{ mms}^{-1}$ ; a esta disminución pudo contribuir el tráfico del tractor al realizar las labores de mantenimiento de cultivo; basta con



**Figura 8.** Variación de la conductividad y sorptividad vs potencial de presión para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo (LT = tradicional; LC = conservación), bajo un cultivo de trigo. Campaña 99/00. Los puntos representan las medias de tres repeticiones y las barras horizontales el error estándar.

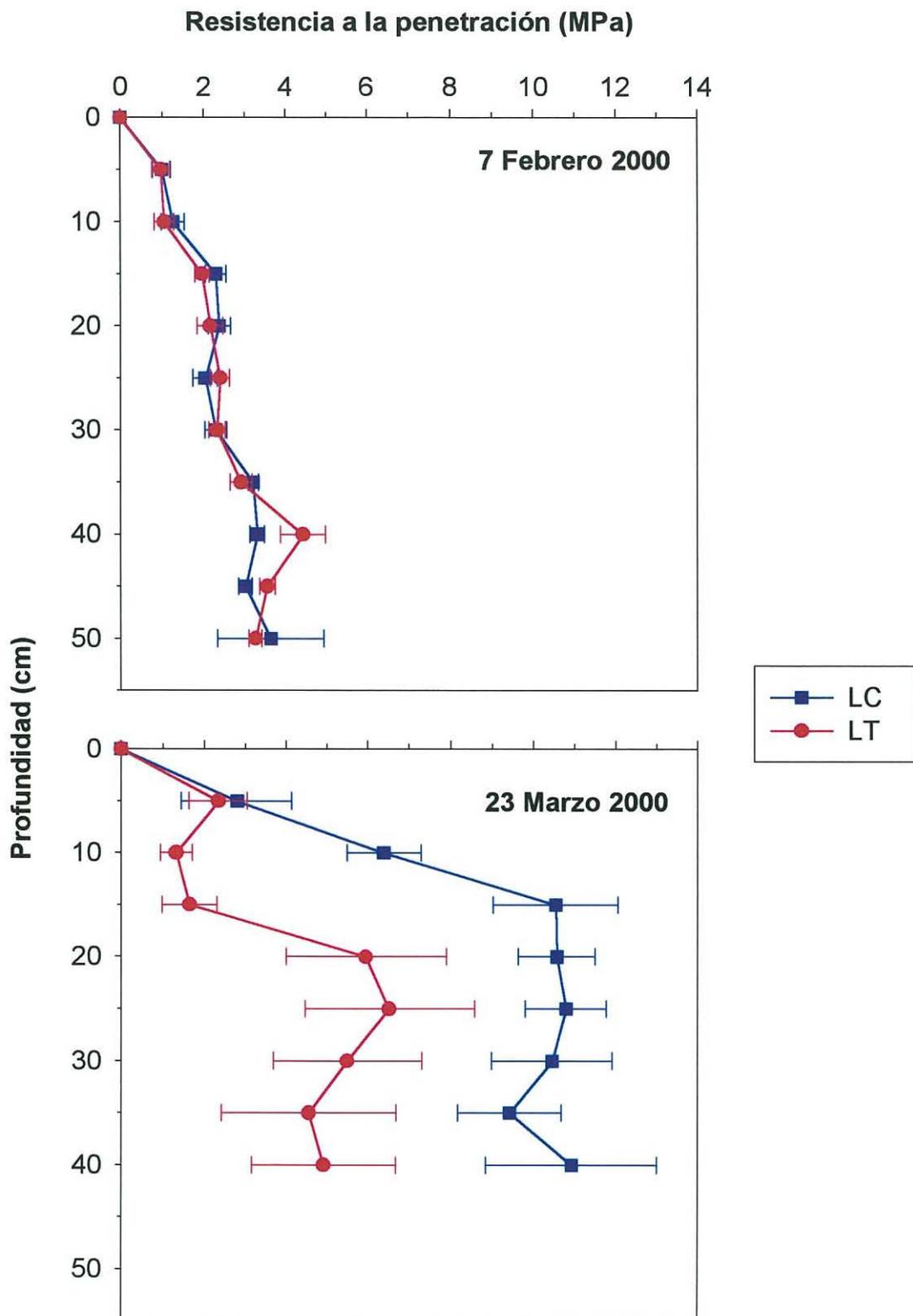
observar el cambio del diámetro de poro, este se ha reducido de una lectura a otra en más del 100% aproximadamente; contrario a LC que aumentó en promedio su tamaño en un 70% (Tabla 5).

**Tabla 5.** Valores medios de las propiedades hidráulicas de un suelo, sometido a dos métodos de labranza, (14-03-00). Coria del Rio, segunda lectura.

Trat/to	$\psi$ (mm)	K ( $\text{mms}^{-1}$ )	$\Phi$	S ( $\text{mms}^{-1/2}$ )	$t_{\text{grav}}$ (min)	$\lambda$ (mm)
	-5	0.016	0.408	0.274	5	0.299
LC	-30	0.005	0.223	0.198	30	0.206
	-80	0.002	0.123	0.149	87	0.146
	-120	0.001	0.045	0.091	164	0.180
	-5	0.006	0.462	0.372	59	0.119
LT	-30	0.004	0.344	0.320	123	0.103
	-80	0.003	0.172	0.227	220	0.117
	-120	0.001	0.064	0.140	321	0.147

### 4.3. RESISTENCIA A LA PENETRACION

Los valores de la primer lectura (7-02-00), indican que la resistencia a la penetración (RP) en los dos tratamientos se comporta con gran similitud de tendencias existiendo leves diferencias significativas a los 40 y 45 cm de profundidad (Figura 9). Los valores en LT no sobrepasan los 4.4 MPa y en LC se ubican en 3.6 MPa como máximo; ambos registros se localizan a los 40 y 50 cm de profundidad respectivamente, dando un amplio margen de exploración a las raíces por encima de esta capa. Es importante resaltar que los promedios de resistencia a la penetración en los primeros 30 cm, no sobrepasaron los 2.5 MPa en LT y 2.42 en LC, un poco inferiores a los reportados por Grau (1996) para el mismo cultivo,



**Figura 9.** Variación de la resistencia a la penetración medida con penetrómetro de impacto vertical para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo (LT = tradicional; LC = conservación), bajo un cultivo de trigo. Campaña 99/00. Los puntos representan las medias de tres repeticiones y las barras horizontales el error estándar.

que están por encima de 3 MPa., (García, 2000), pero superiores a los obtenidos por Villaú (1997) que fueron menores a 1 MPa, este último aduce los resultados a las precipitaciones de ese año que ablandaron el suelo.

Comparando dicha tendencia con otras que ha tenido el lote en estudios anteriores, realizadas por la misma época, salta a la vista lo atípica de esta, tanto por lo poco compacta como por su atenuado comportamiento, donde para LC no se observan saltos bruscos de incremento en RP tanto en las capas superficiales como subsuperficiales. Ahora, en LT para esta primer medición, se observaron valores inferiores a los de otras ocasiones, este tratamiento tuvo menos compactación, siendo en los primeros 30 cm de 2.3 MPa con un error estándar de 0.2; la causa más probable, es que esa misma profundidad es la de trabajo de la vertedera, por lo que la relación de poros es mayor que en LC. Dichos valores son inferiores a los citados por Taylor y Gardner (1963) de 3 MPa y Ehlers y col., (1983) de hasta 5 MPa, citados por Pelegrin, donde según ellos, restringen el crecimiento de las raíces. No es extraño y como lo explica Voorhees y col., (1986) citado por Pelegrin (1989) que la compactación del subsuelo pueda llegar a los 40 cm, como consecuencia del diseño de los neumáticos actuales con cargas de hasta 6 toneladas por eje.

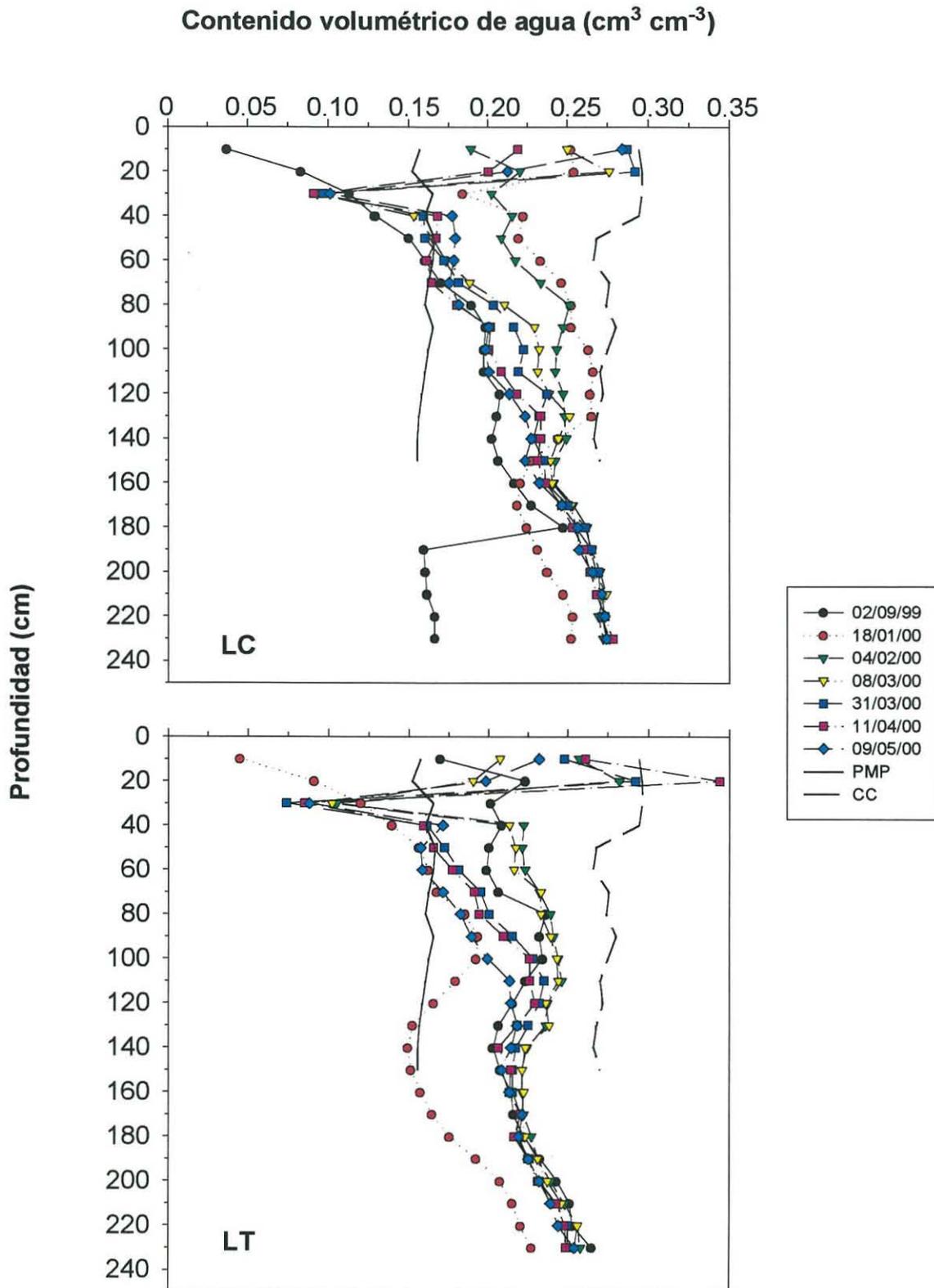
La segunda lectura (21-03-00), muestra incrementos regulares de RP para LC conforme aumenta la profundidad, hasta ubicarse en valores de 10.53 MPa a los 15 cm de profundidad (Figura 9), de allí en adelante este

valor se sostiene hasta los 30 cm fluctuando muy poco, siempre por el orden de 10.5 MPa, donde desciende a 9 MPa (35 cm), volviendo a aumentar a casi 11 MPa a 40 cm (Figura 9). Lo anterior manifiesta un cambio radical en el comportamiento de los dos tratamientos, sobre todo en LC; la evolución de esta variable conduce a un aumento de valores entre tres a cinco veces con respecto a la lectura anterior; basta observar el cambio que a los 10 cm de profundidad se sucede, en febrero se registra 1.25 MPa para luego incrementarse cinco veces más en marzo resultando un valor de 6.39 MPa; en LT ocurre algo similar, la RP aumenta dos a tres veces aproximadamente, de tener 2.14 MPa (febrero) pasa a 5.95 MPa (marzo), generando un grado de empaquetamiento tal que explica el por qué del fenómeno de sorptividad. A tal compactación también incide la textura donde básicamente prevalece la arcilla, este solo hecho también explica el por qué la parcela se compacta de esa forma.

A excepción de los primeros 5 cm, los demás valores son significativamente diferentes, siendo los de LC, el doble de LT.

#### **4.4. ANALISIS DE LOS PERFILES HIDRICOS**

Es evidente que en ambos tratamientos la recarga de humedad en los primeros 30 centímetros, fue consecuencia directa de las precipitaciones caídas en fechas próximas a las lecturas, sobre todo las que afectaron los meses de marzo (24 mm), abril (79 mm) y mayo (72.5 mm) (Figura 10).



**Figura 10.** Evolución de los perfiles hídricos para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo (LT = tradicional; LC = conservación), bajo un cultivo de trigo. PMP = punto de marchitez permanente; CC = capacidad de campo.

En septiembre de 1999, LC presentó el mayor déficit de humedad en los primeros 60 cm, contrastando con LT que en la misma fecha conservó agua disponible, es decir, se mantiene dentro de los límites del punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo (CC); hay que recordar que todavía era verano por lo que las altas temperaturas calientan el suelo y debido a fenómenos de conducción de calor, alcanzan a afectar dicha profundidad creando un gradiente térmico que hace migrar agua en forma de vapor desde el interior. Lo que no queda muy claro es por qué LC pierde mayor humedad que LT, siendo este último suelo alterado y LC no removido.

En enero la situación cambia, y de ser LC deficitario en contenido de humedad (CH), pasa a tener valores importantes (del orden de  $0.25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), sobre todo en la capa de 10-30 cm, siempre existiendo humedad disponible a lo largo del perfil, mientras que LT es deficitario hasta los 60 cm, donde se vuelve a ubicar en contenidos disponibles. Algo parecido ocurre en febrero, aunque con menor humedad, LC mantiene agua disponible a lo largo del perfil; cosa que no ocurre con LT, pues si bien alcanza niveles en la superficie (20 cm) próximos a CC, sufre un agotamiento abrupto que sobrepasa el PMP ampliamente, induciendo un posible estrés hídrico al cultivo, todo ello en tan solo 10 cm, correspondientes a la capa que va de 20 a 30 cm, a partir de 40 cm se incrementan los CH y de ahí en adelante se mantiene como humedad disponible en todo el perfil.

Las lecturas de marzo manifiestan una caída abrupta en los contenidos de agua útil para ambos tratamientos, que alcanzan a ser inferiores al PMP, esto sucede en los primeros 30 cm. Ahora, aunque LC está más próximo a CC que LT, este último tiene capas con humedad disponible más próximas a la superficie que LC; en LT se encuentran a 40-50 cm de profundidad y en LC a 50-60 cm; así el cultivo no tiene que requerir demasiada energía en busca de agua y puede dedicarla a formar biomasa, que para esta época estará representada básicamente hacia el llenado de grano, de ahí que la demanda evapotranspirativa sea exigente y se explique el agotamiento de los perfiles.

Abril y mayo se comportan de manera similar. En abril y debido a las frecuentes precipitaciones (79 mm en total) que recargaron el perfil más allá de la CC, el suelo se saturó en LT, el remanente de agua en este tratamiento pronto se agotó al punto de sobrepasar y ser inferior al PMP en forma amplia; ese mismo agotamiento lo tuvo LC, con la diferencia que las precipitaciones nunca saturaron el suelo, manteniéndose siempre a capacidad de campo, situación importante porque evita la escorrentía y la consiguiente pérdida de suelo, pero también confirma lo que diversos autores han expresado respecto que la labranza de conservación aumenta la capacidad de almacenamiento de humedad, frente a los métodos de labranza limpia.

Los perfiles se comportan de manera idéntica, en el sentido que la humedad es agotada en los primeros 30 cm, volviendo a ser disponible a partir de los 40 en adelante.

Comparando de forma global el comportamiento de los perfiles en los dos tratamientos, se puede decir que la demanda del cultivo agotó más pronto el agua disponible en LC que en LT; basta con mirar lo “empaquetadas” que están las tendencias en LC, próximas al PMP, sobre todo en la capa de 40 a 80 cm; lo que no sucede en LT que presenta reservas de humedad en la misma capa de suelo (40-80 cm).

#### **4.5. ANALISIS DE PLANTAS**

##### **4.5.1. Concentración de Macronutrientes**

El primer análisis (14-01-00) mostró diferencias significativas para el fósforo y potasio a favor de LT (Tabla 6). En fósforo dicha significancia se dio tanto en parte aérea como en hojas y para potasio solo en hojas. Es muy probable que haya sido debido a que en estos primeros estados el suelo conservara las características de soltura que el arado y la grada le confieren, favoreciendo que estos elementos sean fácilmente tomados por la planta, sobre todo en lo concerniente al fósforo, elemento poco móvil en el suelo.

**Tabla 6.** Concentración de macronutrientes, expresados sobre materia seca; para un suelo sometido a dos métodos de laboreo\*\*, (14-01-00).

Fracción	Trat/to	N	P	K	S	Ca	Mg	Na
Aérea	LT	4.00	0.34*	4.86	0.41	0.58	0.19	0.14
	LC	3.95	0.32	4.87	0.43	0.58	0.19	0.13
Hoja	LT	4.28	0.33*	4.53*	0.49	0.61	0.20	0.13
	LC	4.29	0.30	4.39	0.50	0.51	0.18	0.12

\*Diferencias significativas para parte aérea u hoja, a nivel de  $P < 0.05$

\*\*Valores medios de cuatro repeticiones. Plantas tomadas 48 días después de la siembra (DDS).

En el segundo análisis (15-03-00) la parte aérea de las plantas presentó diferencias significativas para el nitrógeno, azufre, calcio, magnesio y sodio, a favor de LC, resultados muy contrarios a los reportados en años anteriores para este cultivo, donde las plantas en LT siempre han mostrado mayor contenido de macronutrientes a niveles de significancia estadística (Tabla 7). En hojas, las diferencias estuvieron dadas por el nitrógeno, fósforo y azufre, también a favor de LC y contrarios a los resultados de años anteriores, donde no han existido significancias.

**Tabla 7.** Concentración de macronutrientes, expresados sobre materia Seca; para un suelo sometido a dos métodos de laboreo\*\* (15-03-00).

Fracción	Trat/to	N	P	K	S	Ca	Mg	Na
Aérea	LT	1.49*	0.17	1.93	0.19*	0.27*	0.11*	0.15*
	LC	1.77	0.17	1.93	0.22	0.31	0.13	0.22
Hoja	LT	3.35*	0.26*	2.26	0.34*	0.32	0.15	0.077
	LC	3.49	0.27	2.26	0.36	0.34	0.16	0.094

\*Diferencias significativas para parte aérea u hoja, a nivel de  $P < 0.05$

\*\*Valores medios de cinco repeticiones. Plantas tomadas 109 DDS.

#### 4.5.2. Concentración de Micronutrientes

Solo hubo diferencias significativas para el níquel, donde las concentraciones en LC fueron más del doble de las observadas en LT. El segundo muestreo manifestó diferencias significativas a nivel de parte aérea en zinc y para hojas en cobre, aquí también a favor de LC, (Tablas 8 y 9).

**Tabla 8.** Concentración de micronutrientes expresados sobre materia seca, para un suelo sometido a dos métodos de labranza. (14-01-00)\*\*

Fracción	Trat/to	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Ni	Si
Aerea	LT	116	47.57	50.30	8.39	2.09	0.89*	-
	LC	144	52.73	51.10	10.10	2.59	2.16	-
Hoja	LT	134	47.40	52.20	11.40	2.78	1.07	-
	LC	130	42.20	52.70	11.90	2.16	1.49	-

\*Diferencias significativas para parte aérea u hoja, a nivel de  $P < 0.05$

\*\*Valores medios de cuatro repeticiones Plantas tomadas 48 DDS.

**Tabla 9.** Concentración de micronutrientes expresados sobre materia seca, para un suelo sometido a dos métodos de labranza. (15-03-00).

Fracción	Trat/to	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Ni	Si
Aérea	LT	65.98	30.30	22.96*	4.85	3.32	1.11	11.95
	LC	67.98	31.64	26.26	5.43	3.47	1.25	12.98
Hoja	LT	76.56	30.66	31.48	7.92*	8.32	0.61	10.86
	LC	75.48	2986	32.32	8.60	8.26	0.71	10.27

\*Diferencias significativas para parte aérea u hoja, a nivel de  $P < 0.05$ .

\*\*Valores medios de cuatro repeticiones. Plántulas tomadas 109 DDS.

#### 4.5.3. Concentración de Macronutrientes a Cosecha

Respecto al nivel de macronutrientes (Tabla 10), los análisis en grano indicaron que solo para el calcio existieron diferencias significativas a favor de LT con 0.047 expresados sobre materia seca, dicho valor también se encuentra muy por encima del nivel adecuado que es de 0.032. En la fracción paja no se observó diferencias significativas para ninguno de los elementos analizados.

Extrañamente los contenidos de N en ambas fracciones fueron mayores en LC que en LT (Tabla 10), sin ser significativamente diferentes; este resultado es contrario a las tendencias presentadas en años anteriores, por lo que el seguimiento a este elemento y a la misma materia orgánica, deberá realizarse con más frecuencia, con el objeto de hallar respuesta a esta situación.

**Tabla 10.** Concentración de macronutrientes para grano y paja de trigo cosechado en un suelo sometido a dos métodos de laboreo (tradicional y conservación)<sup>1</sup>, expresados sobre materia seca\*\*

Fracción	Tra/to	N	P	K	S	Ca	Mg	Na
Grano	LT	<b>1.81</b>	<b>0.35</b>	<b>0.47</b>	<b>0.12</b>	<b>0.047*</b>	<b>0.12</b>	<b>0.007</b>
	LC	<b>2.05</b>	<b>0.36</b>	<b>0.44</b>	<b>0.14</b>	<b>0.038</b>	<b>0.13</b>	<b>0.002</b>
Niveles adecuados			0.33 0.30 <sup>2</sup>	0.53 0.38 <sup>2</sup>	0.17-0.18 0.135 <sup>2</sup>	0.032	0.12	0.008
Paja	LT	<b>0.09</b>	<b>0.071</b>	<b>0.72</b>	<b>0.11</b>	<b>0.26</b>	<b>0.09</b>	<b>0.12</b>
	LC	<b>0.31</b>	<b>0.069</b>	<b>0.96</b>	<b>0.15</b>	<b>0.34</b>	<b>0.11</b>	<b>0.19</b>

\*Diferencias significativas para parte aérea u hoja a nivel de  $P < 0.05$

\*\*Datos obtenidos en el Plasma, con digestión vía metales pesados .

<sup>1</sup>Muestras tomadas Junio de 2000. Valores medios de cuatro repeticiones.

<sup>2</sup>Valores procedentes de 34 laboratorios de Australia y Papúa (Nueva Guinea). Análisis de seis plantas diferentes. Información recopilada por Reuter y Robinson (1997).

#### 4.5.4. Concentración de Micronutrientes a Cosecha.

Ninguno de los elementos analizados fue significativamente diferente tanto en LC como en LT, para la fracción grano y paja (Tabla 11); lo anterior indica que los dos métodos de labranza no inciden en el balance nutricional del cultivo.

**Tabla 11.** Concentración de micronutrientes para grano y paja de trigo cosechado en un suelo sometido a dos métodos de laboreo (tradicional y conservación)<sup>1</sup>, expresados sobre materia seca.

Fracción	Trat/to.	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Ni	Si
Grano	LT	27.8	26.5	30.6	4.04	<2	-	-
	LC	27.1	22.1	33.0	4.43	<2	-	-
Niveles adecuados		34.8 <sup>2</sup>	21-34	21-34	1.0-2.5 <sup>vc</sup> 4.74 <sup>2</sup>	2.0 2.93 <sup>2</sup>		
Paja	LT	135	20.1	9.35	1.75	3.18	1.56	-
	LC	163	16.7	11.8	2.31	2.81	1.57	-

<sup>1</sup>Muestras tomadas Junio de 2000. Valores medios de cuatro repeticiones.

<sup>2</sup>Valores críticos procedentes de 34 laboratorios de Australia y Papúa (Nueva Guinea). Análisis de seis plantas diferentes. Información recopilada por Reuter y Robinson (1997).

\*Diferencias significativas para parte aérea u hoja a nivel de  $P < 0.05$ .

\*\* Datos obtenidos en el Plasma, con digestión vía metales pesados.

<sup>vc</sup>Intervalo crítico

#### 4.5.5. Índices DRIS

Los índices DRIS, indican el orden de prioridad que en un momento dado requiere un cultivo en elementos para mantener su balance nutricional.

La Tabla 12 muestra cómo el elemento más crítico en ambos tratamientos para esta época es el fósforo (valor más negativo de toda la tabla), tanto en la fracción aérea como en hojas, seguido bien distante por el

nitrógeno. No sorprende que el fósforo sea elemento problema, pues los suelos de la zona presentan exceso de carbonatos que elevan el pH y que de todos los factores del suelo que condicionan su disponibilidad este sea realmente el que limite las formas asimilables. Completan el orden de elementos, el azufre y potasio en parte aérea y en hojas el potasio y azufre los que conforman las necesidades nutricionales del cultivo.

**Tabla 12.** Índices DRIS y orden de necesidades nutricionales según DRIS, para un suelo sometido a dos métodos de laboreo. (14-01-00)\*\*. Coria del Río 99/00.

Fracción	Trat/to	IN	IP	IK	IS	$\Sigma I$	Necesidad según DRIS
Aérea	LT	-0.70	-20.5	13.5	7.73	42.5	P>N>S>K
	LC	-1.55	-24.7	14.3	12.0	52.5	P>N>S>K
Hoja	LT	3.12	-29.1	8.96	17.0	58.2	P>N>K>S
	LC	5.54	-35.5	9.36	20.7	70.9	P>N>K>S

\*\*obtenidos a partir de las normas propuestas por Amundson y Koehler (1987).

\*Plántulas tomadas 48 días después de la siembra

Los resultados del segundo análisis (Tabla 13), siguen presentando al fósforo como prioritario en el balance nutricional de ambos tratamientos y fracciones (aérea y hoja), seguido del nitrógeno solo en fracción aérea; el azufre es el que menos necesidad presenta en todos los casos. Los cambios se generan en los elementos del medio, nitrógeno y potasio; es así como, mientras en el primer análisis, el potasio es el menos deficitario en fracción aérea (cuarto lugar), ahora lo es, después del nitrógeno, y en hojas es también quien pasa a acompañar al fósforo; esto puede resultar de ser fijado por las arcillas, la falta de suficiente humedad o que la demanda del cultivo supera el contenido del suelo.

**Tabla 13.** Índices DRIS y orden de necesidades nutricionales según DRIS, para un suelo sometido a dos métodos de laboreo. (15-03-00)\*\*. Coria del Río 99/00.

Fracción	Trat/to	IN	IP	IK	IS	$\Sigma I$	Necesidad según DRIS
Aérea*	LT	-9.29	-21.5	8.96	12.6	43.1	P>N>K>S
	LC	1.94	-23.8	5.70	16.1	47.5	P>N>K>S
Hoja*	LT	6.65	4.38	-5.68	15.4	44.1	P>K>N>S
	LC	8.73	-7.22	-7.22	14.8	47.0	P>K>N>S

\*\*Datos obtenidos a partir de las normas propuestas por Amundson y Koehler (1987) .

\*Plántulas tomadas 109 días después de la siembra.

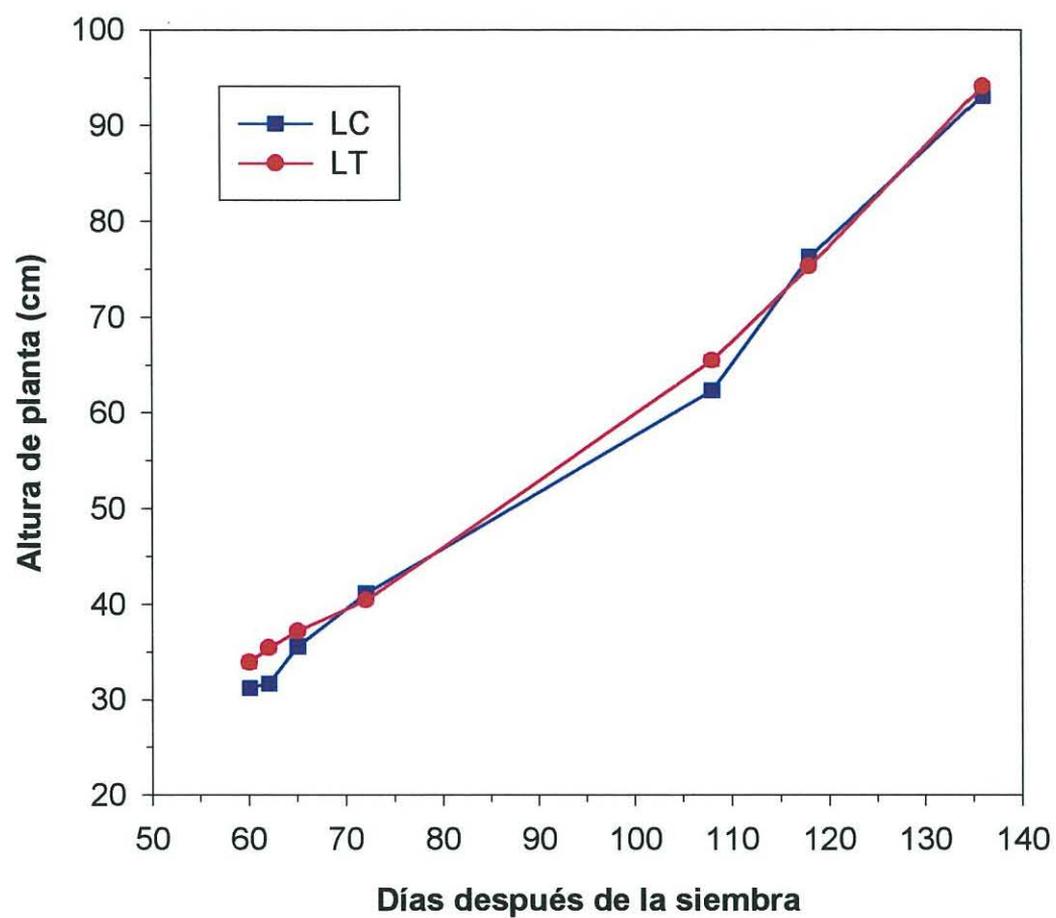
Por último, el peso de promedio de mil granos fue de 49.54 gramos en LT y de 48.2 gramos en LC, que estadísticamente resultaron ser iguales.

#### 4.6. ALTURA DE PLANTAS

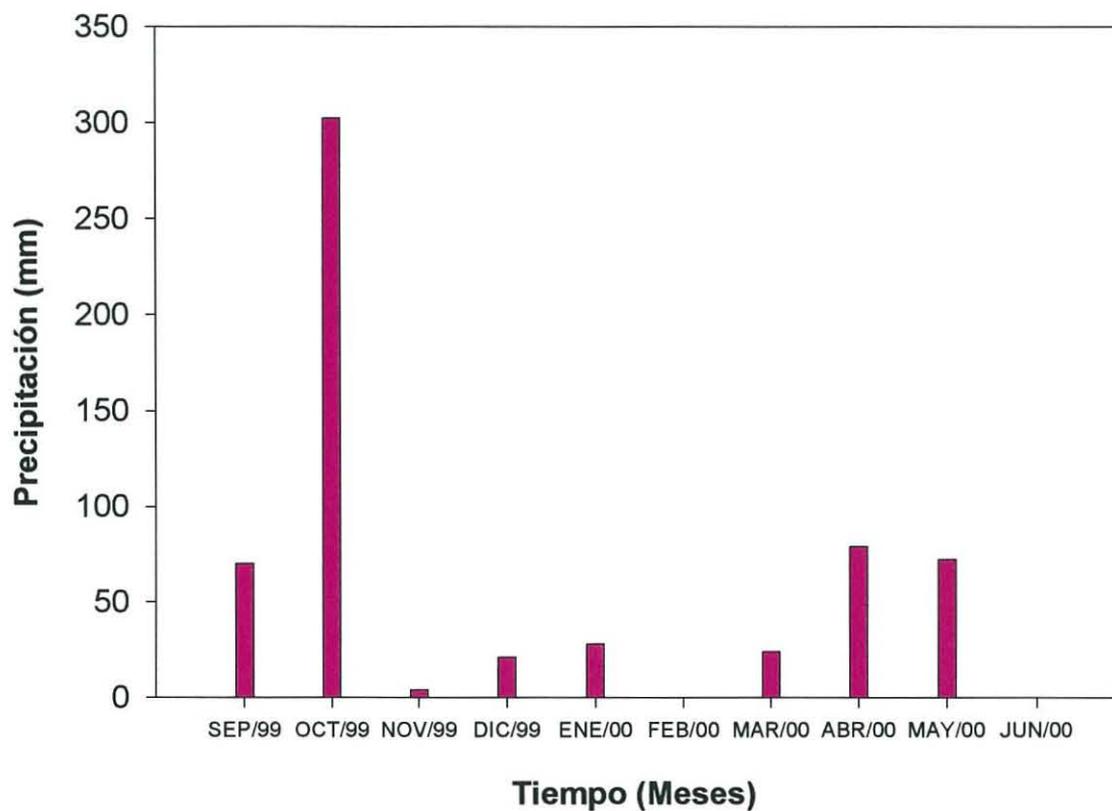
Las primeras lecturas (Figura 11), indicaron leves diferencias significativas a favor de LT, que con el transcurso del tiempo fueron desapareciendo hasta tornarse iguales en ambos tratamientos. Ahora bien, aunque el seguimiento de esta variable se llevó hasta los 136 días después de la siembra (DDS) y todavía no se insinuaba el gráfico sigmoideal que caracteriza el crecimiento y desarrollo de un ser vivo, no cabe duda que LC mejora su rata de crecimiento y LT la detiene un poco, esto debido a que a la larga LC brinda mejores condiciones de humedad y disponibilidad de nutrientes, sin llegar a afirmar tajantemente que uno u otro método de laboreo incidió sobre el cultivo.

#### 4.7. PRECIPITACION

Complementando los anteriores análisis, el registro pluviométrico estuvo dentro de lo normal (Figura 12), es decir, marcado por la irregularidad, tanto así que en octubre del 99 cayeron 302.5 mm, en noviembre del mismo año 4 mm y en abril y mayo del presente, 79 y 72.5 mm, respectivamente; de hecho hubo déficit de humedad en etapas críticas del cultivo; como también estas dos últimas lluvias no modificaron en gran medida los perfiles hídricos, pero sí beneficiaron a LT con respecto a LC, aunque no significativamente., ello quiere decir que LC conserva mejor la humedad y que LT es más exigente en requerimientos hídricos, debido a que pierde humedad con mayor facilidad.



**Figura 11.** Dinámica de crecimiento para un cultivo de trigo, sobre suelo sometido a dos métodos de laboreo (LC = conservación; LT = tradicional) Coria del Río. Campaña 99/00.



**Figura 12.** Registro pluviométrico para un suelo sometido a dos sistemas de laboreo (conservación y tradicional), bajo cultivo de trigo. Coria del Río. Campaña 99/00.

## 5. CONCLUSIONES

El laboreo tradicional causa una porosidad artificial, inestable, de poca duración, que se va perdiendo con el tiempo. Ello trae como consecuencia un aumento de la densidad aparente, afectando directamente otras propiedades físicas como la resistencia a la penetración y la conductividad hidráulica.

La dinámica de la densidad aparente ( $D_a$ ) es a aumentar tanto en LT como en LC, sin embargo en este último se estabiliza y no crece más, incluso disminuye un poco por el efecto exploratorio de las raíces; mientras en LT continúa incrementándose, hasta formar un estrato duro, característico de la suela de labor.

A medida que el cultivo se va desarrollando la conductividad hidráulica evoluciona a favor de LC, es decir, aumenta su capacidad de transportar agua por efecto de las raíces que exploran el suelo dejando a su paso poros de mayor tamaño; mientras LT la pierde por efecto de la consolidación del suelo, que le hace aumentar la densidad aparente y disminuir el tamaño de poros, incrementando su sorptividad.

El proceso en LC de aumento de tamaño de poros no es lo suficientemente agresivo como para que la gravedad actúe sobre el

movimiento de agua (flujo descendente), haciendo de la sorptividad el fenómeno predominante.

La resistencia a la penetración (RP) es diferente en magnitud y evolución para los dos métodos de labranza, pero siempre con tendencia a aumentar, es decir, a compactarse. Los resultados muestran que de tener LT y LC en el segundo mes de cultivo (febrero) similar comportamiento con RP menores a 3 Mpa, para el cuarto mes (marzo), LC magnifica su RP tres veces en tan solo 15 cm a 10 Mpa, en tanto LT es mucho menos compacta que LC solo en los primeros 15 cm, con valores por debajo de 3 Mpa o sea, tres veces menos que LC. Este compactamiento es adverso, en primer lugar porque resta capacidad de almacenamiento de humedad y conductividad y en segundo lugar impide el crecimiento de las raíces, que en el trigo se traduce en tener limitada profundidad efectiva de exploración, obligando a fascicularse muy pronto. En general en la superficie, LT es menos compacta que LC, y en la subsuperficie LC lo es menos que LT.

Si bien los métodos de laboreo inciden en el balance nutricional de los primeros estados de crecimiento y desarrollo del cultivo a favor de LT, al transcurrir el tiempo la tendencia se invierte y es LC quien supera a LT; sin embargo a nivel de rendimientos y peso de grano no hay diferencias significativas que indiquen que los métodos de laboreo influyan.

Respecto a la dinámica de crecimiento del cultivo, no se puede afirmar de forma contundente que los métodos de laboreo incidan en el cultivo, pero si se puede decir que a la larga LC ofrece mejores condiciones de humedad y nutrición que suplan las demandas del cultivo.

Por último las lluvias caídas durante el período de cultivo, beneficiaron un poco mas a LT que a LC por lo que este último no mostró otras bondades como alternativa de laboreo, lo cual lleva a sugerir y apoyado en anteriores estudios que la labranza de conservación es un método para zonas donde las precipitaciones sean escasas e irregulares.

## BIBLIOGRAFÍA

ANKENY D, Mark; MUSHTAQUE, Ahmed; THOMAS C, Kaspar; HORTON R. Simple field method determining unsaturated hydraulic conductivity. En: Soil Sci. Am. J., 1991. 55: 467 – 470.

ARRÚE UGARTE, J.L., 1976. Factores químicos, físico-químicos y físicos determinantes de la porosidad de los suelos. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, Departamento de química. 378 pp.

BESCANS MIQUEL, Paloma; OTAZU BERUETE, Nieves; ENRIQUE MARTÍN, Alberto; IRAÑETA GOICOA, Jesús; DEL CASTILLO GARCIA, Juan; 1998. Influencia de distintos sistemas de laboreo de conservación en propiedades del suelo y en la producción de cereal de secano en condiciones semiáridas (Olite, Navarra). En : Edafología, revista de la sociedad española de la ciencia del suelo. Octubre 1998. Nº 4.

GARCIA DEL TORO, Juan Miguel; MORENO LUCAS , Felix; PELEGRIN SANCHEZ, Francisco. Influencia del laboreo tradicional y de conservación en la propiedades físicas del suelo y desarrollo de un cultivo de girasol tras siete años de aplicación. Trabajo fin de carrera, Universidad de Sevilla. Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícola. Sevilla. Junio, 2000. 114 p.

GONZALEZ F, P; GIRALDEZ C, J.V.; FERERES E.; MARTIN, I. Resultados de la siembra directa en el secano andaluz. En: 2º Congreso nacional de la ciencia del suelo, comunicaciones. Sevilla, 26-30 de septiembre. 1988. 496-501.

GRAU LOZA, D. Influencia del laboreo de conservación y el laboreo tradicional sobre las propiedades físicas y químicas y en el desarrollo y producción de un cultivo de trigo. Trabajo fin de carrera, Universidad de Sevilla, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, 1996. 118 pp.

GUERRERO GARCIA, A. Cultivos herbáceos extensivos. Ed. Mundi-Prensa, 1992.

HOYAS PABLOS, A., 1994. Estudio monográfico de las propiedades físicas y su evolución en un suelo con una rotación de cultivos en secano (trigo y girasol), bajo dos sistemas de laboreo (laboreo tradicional y laboreo de conservación). Trabajo fin de carrera, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Sevilla. 144 pp.

MORÓN ONRUBIA, D., 1995. Estudio de las propiedades físicas del suelo bajo laboreo tradicional y laboreo de conservación y su influencia en la extracción de agua y en el rendimiento del cultivo. Trabajo fin de carrera, Universidad de Sevilla, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. 112 pp.

MUDARRA, J.L., 1988. Reconocimiento de los suelos de la comarca del Aljarafe. Publicaciones del C.S.I.C., 111 pp.

PELEGRIN SÁNCHEZ, F., 1989. Relación entre laboreo y las propiedades físicas del suelo: influencia en el balance hídrico y en las disponibilidades de agua en una rotación de cultivos de secano en la campiña de Sevilla. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 378 pp.

PELEGRIN SÁNCHEZ, F; Moreno, F; Martín Aranda, J; Fernández, J.E., 1996. Influencia del laboreo en la resistencia a la penetración y otras propiedades físicas del suelo. En : Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetales. Vol. 11 (3). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid.

VILLAÚ CABEZA, J. M., 1997. Influencia del laboreo tradicional y el laboreo de conservación en algunas propiedades del suelo y desarrollo de un cultivo de girasol tras cinco años de aplicación. Trabajo fin de carrera, Universidad de Sevilla, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. 116 pp.

RASMUSSEN, K.J. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality : A Scandinavian. En: Soil & Tillage Research. Vol 53, Nº 1; 1999. p.p. 3-14

SHIPITALO, M. J.; DICK, W. A.; EDWARDS, W. M. Conservation tillage and macropore factors that effect water movement and the fate of chemicals. En : Soil & Tillage Research. Vol. 53.

WIERMAMM, C.; WERNER, D.; HORN, D.; ROSTEK, J.; WERNER. Stress / strain processes in a structured unsaturated silty loam Luvisol under different tillage treatments in Germany. En : Soil & Tillage Research. Vol 53; Nº 2; 2000. p.p. 117 - 128.