

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**COMPORTAMIENTO DE UN SUELO XEROSOL
HAPLICO ANTE LA ACCION DE LOS
IMPLEMENTOS DE LABRANZA**

**POR
ENRIQUE MARTINEZ RUBIN DE CELIS**

**COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
CON ESPECIALIDAD EN AGUA-SUELO**

MARIN, N. L., MEXICO

OCTUBRE DE 1997



1080071714

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



COMPORTAMIENTO DE UN SUELO ZIMONCAL
HAPLICO ANTE LA ACCIÓN DE LOS
IMPLEMENTOS DE LABRANZA

POR
ENRIQUE MARTINEZ RUBIN DE CELIS



COMO REQUISITO PARCIAL,
PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
CON ESPECIALIDAD EN AGUA-SUELO

MARIN, N. L., MEXICO

OCTUBRE DE 1997

TD
5593
H3



(71714)



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



COMPORTAMIENTO DE UN SUELO XEROSOL HAPLICO
ANTE LA ACCION DE LOS IMPLEMENTOS
DE LABRANZA

POR

ENRIQUE MARTINEZ RUBIN DE CELIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS CON ESPECIALIDAD
EN AGUA - SUELO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



COMPORTAMIENTO DE UN SUELO XEROSOL HAPLICO
ANTE LA ACCION DE LOS IMPLEMENTOS
DE LABRANZA

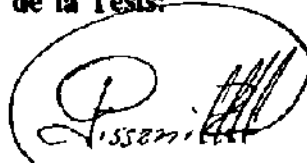
Por

ENRIQUE MARTINEZ RUBIN DE CELIS

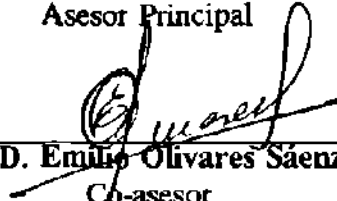
Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS con especialidad
en Agua - Suelo

**COMPORTAMIENTO DE UN SUELO XEROSOL HAPLICO
ANTE LA ACCION DE LOS IMPLEMENTOS
DE LABRANZA**

Aprobación de la Tesis:



Dr. Juan Francisco Pissani Zuñiga
Asesor Principal



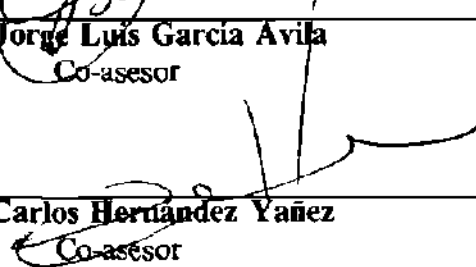
Ph.D. Emilio Olivares Sáenz
Co-asesor



Ph.D. Rigoberto Vázquez Alvarado
Co-asesor



Ph.D. Jorge Luis García Avila
Co-asesor



Ph.D. Carlos Hernández Yañez
Co-asesor



Ph.D. Francisco Zavala García

Subdirector de Estudios de Postgrado de la Facultad de Agronomía

Res firma
mitescere
nescit

Una vez
que lo alcanzaste
consérvalo

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi respeto y mi agradecimiento al Dr. Juan Francisco Pissani Zuñiga, asesor principal de mi tesis, por sus consejos, y el apoyo que dedicó a mi formación. A los Doctores en Ciencias Emilio Olivares Sáenz, Rigoberto Vázquez Alvarado, Carlos Hernández Yáñez y Jorge Luis García Avila, coasesores e integrantes de mi comité particular de tesis, por el apoyo que me brindaron, por sus valiosas sugerencias y el interés que demostraron tanto en la realización de mi tesis así como en la revisión del presente trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico que me proporcionó para la realización de mis estudios.

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria que me otorgó las facilidades necesarias para la realización de mis estudios doctorales.

Al Consejo Del Sistema Nacional de Educación Tecnológica por su apoyo para la impresión de la tesis.

Al Ph.D. Carlos Hernández Yáñez, ex-director del CENID-RASPA (INIFAP) por las facilidades otorgadas para la realización del primer experimento de esta tesis.

Al personal, científico, administrativo y de campo del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, de INIFAP que me otorgó toda clase de facilidades para la realización de los trabajos en el primer experimento de esta tesis, proporcionándome un gran ambiente de trabajo.

A la Ing Raquel Anguiano Gallegos Jefe del departamento de DIFUTEC del CENID-RASPA (INIFAP) por su apoyo en la revisión del presente trabajo.

A José Dimas López Martínez y Ricardo David Valdez Cepeda por la amistad y el apoyo que me brindaron durante la realización de mis estudios doctorales.

A mis amigos y compañeros de trabajo, por su apoyo moral.

A todas aquellas personas que me apoyaron directa e indirectamente, en la realización de mis estudios.

DEDICATORIA

A mi esposa Lourdes Imelda por su inigualable apoyo en la realización de esta etapa de mi formación, al motivarme e impulsarme para lograr mis estudios doctorales, y al soportar cuatro años más de privaciones y esperanzas.

A mis hijos Hecman, Luime y Melchor Enrique, por ser lo mas preciado de mi vida y por darme aliento, el apoyo y el coraje para realizarme profesionalmente.

A mis padres Hector Ramiro Martínez Hernández y María Ofelia Rubin de Celis Carbajal por que gracias a su amor, a su esfuerzo y ejemplo he logrado lo que ahora soy.

A mis queridos hermanos Olga Ofelia, Beatriz Rosaura, Héctor Ramiro y Ofe(f) por su confianza, por su apoyo y el cariño que siempre me han brindado.

Experiencia Profesional:

- i) Secretaría de Agricultura y Ganadería. Extensionista en el Estado de Campeche, 1975-76.
- ii) Profesor de tiempo parcial en la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. 1977-1983.
- iii) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Encargado del programa de Maquinaria Agrícola en el Estado de Campeche 1976-77. Jefe del Programa de Maquinaria Agrícola en el Estado de Durango y Responsable del Programa Nacional de Mecanización. 1977-1983.
- iv) Profesor-Investigador de tiempo completo del Instituto Tecnológico Agropecuario N° 10, desde 1983 a la fecha.

Otros:

- i) Miembro de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo
- ii) Miembro de la Sociedad Mexicana de Ingenieros Agrícolas
- iii) Publicaciones en memorias de Congresos Nacionales e Internacionales.

INDICE

	Página
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
1. INTRODUCCION	1
1.1 Hipótesis	2
1.2 Objetivos	2
2. LITERATURA REVISADA	3
2.1. Labranza	3
2.2. Sistemas de labranza	4
2.3. Labranza y las propiedades físicas del suelo	9
2.3.1. Estructura	9
2.3.2. Agregados	10
2.3.3. Temperatura	10
2.3.4. Densidad	11
2.3.5. Humedad	11
2.3.6. Conductividad hidráulica	12
2.3.7. Porosidad	13
2.3.8. Compactación	15
2.3.8.1. Trafico controlado	16
2.3.8.2. Resistencia a la penetración	17
2.3.9. Resistencia al corte.	18
2.4. Dinámica del suelo	18
2.5. Labranza y energía	20
3. MATERIALES Y METODOS	23
3.1. Localización Geográfica de la Región Lagunera	23
3.2. Area de estudio	23
3.3. Clima	23
3.4. Suelos.	24
3.5. Hidrología.	25
3.6. Desarrollo del trabajo	26
3.6.1. Primer experimento	26
3.6.1.1. Caracterización del área de estudio	26
3.6.1.2. Diseño Experimental.	26
3.6.1.3. Variables descriptivas	27
3.6.1.3.1. Suelo	27
3.6.1.3.2. Implemento	28
3.6.1.3.3. Tractor	28

3.6.1.4.	Variables de estudio.	28
3.6.1.4.1.	Suelo	28
3.6.1.4.2	Implementos	28
3.6.1.4.3.	Tractor.	29
3.6.1.5.	Establecimiento de los experimentos	29
3.6.1.5.1.	Determinaciones	29
3.6.1.6.	Riegos	29
3.6.2.	Segundo experimento	30
3.6.2.1.	Diseño experimental	30
3.6.2.2.	Determinaciones	31
3.6.2.2.1.	Suelo	31
3.6.2.2.2.	Planta	31
3.6.2.3.	Riegos	31
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	33
4.1.	Primer experimento	33
4.1.1.	Humedad (Hu)	34
4.1.1.1.	Retención de humedad (Rhu)	37
4.1.2.	Densidad aparente (Da)	38
4.1.3.	Índice de cono (IC)	39
4.1.4.	Temperatura (T).	42
4.1.5.	Porosidad (P)	44
4.1.6.	Conductividad hidráulica (K_d)	45
4.1.7.	Sortividad (S)	48
4.1.8.	Potencial de flujo mátrico (Ψ)	50
4.1.9.	Agregados.	51
4.1.9.1.	Distribución (Dag)	51
4.1.9.2.	Estabilidad en seco (Eas)	53
4.1.9.3.	Estabilidad en humedo (Eah)	53
4.1.10.	Consistencia	55
4.1.10.1.	Límite líquido (Ll)	55
4.1.10.2.	Límite plástico (L_p)	57
4.1.10.3.	Índice de plasticidad (Ip)	59
4.1.10.4.	Punto de pegajosidad (Pp).	59
4.1.10.5.	Índice de flujo (If)	60
4.1.11.	Módulo de contracción (Mc)	62
4.1.12.	Módulo de ruptura (Mr)	63
4.1.13.	Esfuerzo al corte.	65
4.1.13.1.	Marco torsional (Ec)	65
4.1.13.2.	Veleta (T_v)	66
4.1.13.3.	Esfuerzo al corte en el fondo de trabajo (Ec)	67
4.1.14.	Resistencia al impacto (Ri).	66
4.1.15.	Relación funcional entre variables	68
4.1.15.1.	Humedad (Hu)	68
4.1.15.2.	Densidad aparente (Da)	69
4.1.15.3.	Temperatura (T)	69
4.1.15.4.	Conductividad hidráulica (K_d).	70
4.1.15.5.	Potencial de Flujo mátrico (Ψ).	71
4.1.15.6.	Sortividad (S).	72

4.1.15.7. Porosidad (P)	72
4.1.15.8. Límite líquido (Ll)	73
4.1.15.9. Límite plástico (Lp)	73
4.1.15.10. Punto de pegajosidad (Pp)	74
4.1.15.11. Índice de cono (IC)	75
4.1.15.12. Aeración (Ae)	75
4.1.15.13. Índice de plasticidad (Ip)	76
4.2. Segundo experimento	77
4.2.1. Variables del suelo	77
4.2.1.1. Humedad (Hu)	77
4.2.1.2. Densidad aparente (Da)	79
4.2.1.3. Índice de cono (IC)	82
4.2.1.4. Temperatura (T)	85
4.2.1.5. Porosidad (P)	85
4.2.1.6. Modulo de ruptura (Mr)	88
4.2.1.7. Modulo de contracción (Mc)	89
4.2.1.8. Consistencia	89
4.2.1.8.1. Límite Líquido (Ll)	89
4.2.1.8.2. Límite Plástico (Lp)	90
4.2.1.8.3. Punto de pegajosidad (Pp)	91
4.2.1.8.4. Índice de fluidez (If)	92
4.2.2. Resultados en el cultivo	93
4.2.2.1. Cosecha	93
4.2.2.2. Longitud de raíz	94
4.2.2.3. Diámetro del tallo	95
5. CONCLUSIONES	96
6. LITERATURA CITADA	98
7. APENDICE A	105
8. APENDICE B	116

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Clasificación de la conductividad hidráulica según el criterio de O'Neal y Uhland	13
2 Apreciación de la porosidad total del suelo	15
3 Energía total para labranza siembra y control de maleza	22
4 Características físico-químicas del suelo en el área experimental	28
5 Variables determinadas al establecer los tratamientos	33
6 Comparación de medias de la humedad (Hu %) muestreos por profundidad del ciclo OI 1994-95	35
7 Comparación de medias de la humedad (Hu %).	36
8 Comparación de medias para la retención de humedad (%) en cada tensión por profundidad (cm) en los ciclos OI 1994-95 y PV-1995	37
9 Comparación de medias para la densidad aparente (Da) durante cada ciclo	38
10 Comparación de medias de los tratamientos para el índice de cono en cada ciclo OI 1994-95 y PV-1995	39
11 Medias para la interacción tratamiento-mes-profundidad del índice de cono (kPa) ciclo OI 1994-95	41
12 Comparación de medias de la temperatura (°C) en la interacción tratamiento-profundidad en el ciclo OI 1994-95	43
13 Comparación de medias para la porosidad (P) por profundidad en ambos ciclos.	45
14 Comparación de medias de la conductividad hidráulica (cm/seg) en la interacción tratamiento-muestreos en el ciclo OI 1994-95	46
15 Comparación de medias de conductividad hidráulica (cm/seg) entre tratamientos ciclo OI 1994-95	47
16 Comparación de medias entre tratamientos en función del tiempo para la sortividad (cm/seg ^{-1/2}) ciclo OI 1994-95	48
17 Comparación de medias entre tratamientos en función del tiempo para la sortividad (cm/seg ^{-1/2}) ciclo PV-1995	50
18 Comparación de medias para la distribución de los agregados (% DPM) en la interacción muestreos-profundidades (cm) ciclo OI 1994-1995	52
19 Medias para la estabilidad de los agregados en seco (% DPM) por profundidad ciclo PV-1995	53
20 Medias para la interacción tratamiento-mes-profundidad del límite líquido (% Hu) ciclo OI 1994-95	56
21 Medias para la interacción Tratamiento - Mes - Profundidad del límite plástico (% Hu) ciclo OI 1994-95	58
22 Medias para el punto de pegajosidad (% Hu) por profundidad ciclo PV-1995	60
23 Medias para la interacción tratamiento-mes-profundidad del índice de flujo (% Hu) ciclo OI 1994-95	61
24 Comparación de medias del módulo de ruptura (dinas/cm ²) para los tratamientos por ciclo.	63

25	Medias para la interacción tratamiento - muestreos del módulo de ruptura (dinas/cm^2) ciclo OI 1994-95	64
26	Comparación de medias para el esfuerzo al corte (K_d) en el fondo de trabajo	66
27	Comparación de medias de la resistencia al impacto (% DPM) por profundidad ciclo PV-1995	67
28	Comparación de medias de humedad (%) para las interacciones de la parcela grande en el segundo mes del ciclo OI 1995-96.	77
29	Comparación de medias de densidad aparente (gr/cm^3) para las interacciones de la parcela grande en el segundo mes del ciclo OI 1995-96	80
30	Comparación de medias de índice de cono (kPa) para las interacciones de la parcela grande en el segundo mes del ciclo OI 1995-96	82
31	Comparación de medias de porosidad (%) para las interacciones de la parcela grande en el quinto mes del ciclo OI 1995-96.	87
32	Comparación de medias del módulo de ruptura (dinas/cm^2) para las interacciones de las parcelas ciclo OI 1995-96.	88
33	Comparación de medias del punto de pegajosidad (% Hu) ciclo OI 1995-96.	91
34	Comparación de medias del índice de fluidez (%) ciclo OI 1995-96	92
35	Comparación de medias de longitud de raíz (L_r) en las parcelas chicas dentro de cada parcela grande ciclo OI 1995-96.	95

Apendice A

A1	Cuadrados medios de la humedad, densidad aparente, índice de cono y temperatura. ciclo OI 1994-95	105
A2	Cuadrados medios del comportamiento de la humedad, densidad aparente índice de cono y temperatura en el ciclo PV-1995.	105
A3	Cuadrados medios para la retención de humedad (%) en cada ciclo.	106
A4	Cuadrados medios para la porosidad (P) en cada ciclo	106
A5	Cuadrados medios para la conductividad hidráulica (K_d) en cada ciclo	107
A6	Cuadrados medios de la sortividad (S) en cada ciclo	107
A7	Cuadrados medios para el potencial de flujo mátrico (ψ) en cada ciclo	108
A8	Cuadrados medios para la distribución de los agregados (Dag) en cada ciclo	108
A9	Cuadrados medios de la estabilidad de los agregados en húmedo (E_{ah}) en cada ciclo	109
A10	Cuadrados medios para los límites líquido y plástico (L_l , L_p) en cada ciclo	109
A11	Cuadrados medios para el índice plástico, punto de pegajosidad e índice de flujo en cada ciclo	110
A12	Cuadrados medios del módulo de ruptura (M_r) en cada ciclo	110
A13	Cuadrados medios del marco torcional y resistencia al impacto (R_i) en cada ciclo	111
A13a	Cuadrados medios para el esfuerzo al corte en el fondo de trabajo (E_c)	111
A14	Cuadrados medios mensuales para la humedad (%) ciclo OI 1995-96	111
A15	Cuadrados medios mensuales para la densidad aparente (gr/cm^3). ciclo OI 1995-96	112

A16 Cuadrados medios mensuales para el índice de cono (kPa). ciclo OI 1995-96	112
A17 Cuadrados medios mensuales para la temperatura (T). ciclo OI 1995-96	113
A18 Cuadrados medios mensuales para la porosidad (P). ciclo OI 1995-96	113
A19 Cuadrados medios para los módulos de ruptura (dinas/cm ²) y de contracción (%) del ciclo OI 1995-96	114
A20 Cuadrados medios para los límites líquido (%) y plástico (%) en el ciclo OI 1995-96	114
A21 Cuadrados medios para el punto de pegajosidad (%) y el índice de fluidez (%) del ciclo OI 1995-96	115
A22 Cuadrados medios para diámetro, largo y ancho de hoja y número de hijuelos por planta y longitud de hoja. ciclo OI 1995-96	115

Apendice B

Cuadro	Página
B1 Resumen de datos de las variables en la profundidad 00-30 cm utilizadas para el análisis de regresión múltiple. Ciclos OI 1994-95 y PV-1995.	116
B2 Estadísticos Descriptivos	120
B3 Correlación	120
B4 Resumen de las regresiones múltiples mediante el procedimiento stepwise para determinar la relación funcional entre las variables	122

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Localización de la Región Lagunera	24
2 Croquis del área experimental de los ciclos OI 1994-95 y PV-1995.	27
3 Croquis del área experimental del ciclo OI 1995-96 con avena forrajera.	32
4 Comportamiento de la humedad por implemento en el ciclo OI 1994-95 (a) En cada profundidad (b) Durante el ciclo	35
5 Comportamiento de la humedad en el ciclo PV-1995 a) Por profundidad en el mes b) Por implemento en el ciclo	36
6 Comportamiento promedio de la densidad aparente por implemento en el perfil del suelo durante el ciclo PV-1995	38
7 Comportamiento del índice de cono en el perfil por implemento a) Ciclo OI 1994-95 b) Ciclo PV-1995	40
8 Comportamiento de la temperatura por profundidad en el suelo a) Mensual ciclo OI 1994-95 b) Por tratamiento ciclo PV-1995	44
9 Comportamiento de la porosidad por implemento ciclo PV-1995	45
10 Comportamiento de la conductividad hidráulica (a) Ciclo OI 1994-95 (b) Ciclo PV-1995	47
11 Comportamiento de la sortividad del suelo (a) Ciclo OI 1994-95 (b) Ciclo PV -1995	49
12 Comportamiento del potencial de flujo mátrico (a) Ciclo OI 1994-95 (b) Ciclo PV 1995	51
13 Distribución de agregados en los ciclos (a) Ciclo OI 1994-1995 (b) Ciclo PV-1995	52
14 Comportamiento de la estabilidad de los agregados en humedo (a) Ciclo OI 1994-95 (b) Ciclo PV-1995	54
15 Comportamiento del límite líquido durante el ciclo (a) Ciclo OI 1994-95 (b) Ciclo PV-1995	57
16 Comportamiento del límite plástico por implemento (a) Ciclo OI 1994-95 (b) Ciclo PV-1995	58
17 Comportamiento del punto de pegajosidad por implemento. Ciclo PV-1995	60
18 Comportamiento del índice de flujo por implemento ciclo OI 1994-95	62
19 Comportamiento del modulo de ruptura. a) Ciclo OI 1994-95 b) Ciclo PV-1995	64
20 Comportamiento del esfuerzo al corte torsional. a) Ciclo OI 1994-95 b) Ciclo PV-1995	65
21 Resistencia al impacto por implemento ciclo PV-1995.	67
22 Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo a) Humedad b) Densidad aparente	69
23 Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo a) Temperatura b) Conductividad hidráulica	70
24 Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo a)Potencial de flujo mátrico b) Sortividad	71
25 Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo a) Porosidad b) Límite líquido	73

26	Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo a) Límite plástico b) Punto de pegajosidad	74
27	Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo a) Índice de cono b) Aeración	76
28	Comportamiento de la humedad en el perfil. Ciclo OI 1995-96. a) Segundo mes b) Tercer mes	78
29	Densidad aparente en el perfil. Ciclo OI 1995-96 a) Tercer mes b) Cuarto mes.	80
30	Comportamiento de la densidad aparente en el perfil por implemento en el quinto mes. Ciclo OI 1995-96	81
31	Índice de cono en el perfil ciclo OI 1995-96 a) Segundo mes b) Tercer mes.	83
32	Índice de cono en el perfil ciclo OI 1995-96 (a) Cuarto mes (b) Quinto mes	84
33	Temperatura del perfil por implemento ciclo OI 1995-96 a) Tercer mes b) Quinto mes	85
34	Porcentajes de porosidad por implemento en el tercer mes ciclo OI 1995-96. a) Por profundidad b) Por pasos de rastra	86
35	Porosidad del suelo por implemento en cada profundidad Ciclo OI 1995-96 a) Cuarto mes b) Quinto mes.	87
36	Módulo de ruptura para la interacción de las parcelas ciclo OI 1995-96	89
37	Límite de plasticidad en las interacciones de las parcelas grandes ciclo OI 1995-96. a) Con las parcelas chicas b) Con la profundidad	90
38	Punto de pegajosidad en la interacción de implementos ciclo OI 1995-96.	92
39	Índice de flujo para la interacción de las parcelas ciclo OI 1995-96	93
40	Cosecha de avena forrajera ciclo OI 1995-96 (a) En húmedo (b) En seco	94
41	(a) Longitud de raíz y (b) Diámetro de tallo ciclo OI 1995-96.	95

RESUMEN

Enrique Martínez Rubin de Celis

Fecha de Graduación: Octubre de 1997

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Agronomía

Título del Estudio: Comportamiento de un suelo Xerosol háplico ante la acción de los Implementos de Labranza.

Número de Páginas: 127

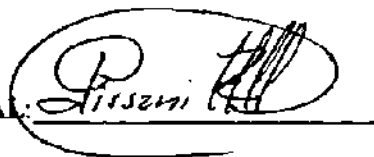
Candidato para el Grado de Doctor en Ciencias Agrícolas con Especialidad en Agua-Suelo

Areas de Estudio: Ingeniería Agrícola (Física-mecánica de suelos). Mecanización (implementos y sistemas de labranza).

Propósitos y Métodos de Estudio: La labranza es uno de los principales factores en la alteración de las propiedades del suelo, y está originando serios problemas en su estructura debido al limitado conocimiento de como interactua un implemento con el suelo y con el comportamiento de sus propiedades. Esta investigación se realizó en la Comarca Lagunera en un suelo de la serie Coyote, clasificado como Xerosol háplico, con el objetivo de estudiar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo y proponer alternativas de preparación para estos suelos. El trabajo se llevó a cabo mediante el establecimiento de dos experimentos, donde el primero consistió en estudiar durante dos ciclos agrícolas el comportamiento del suelo alterado por la acción de los implementos de labranza, sin establecimiento de cultivo. Los tratamientos fueron: arados de discos, vertedera, subsuelo, cinceles, la rastra de discos y labranza cero. Las variables consideradas para estudio fueron: humedad (captación, retención, y conservación), densidad aparente, temperatura, índice de cono, consistencia, módulos de ruptura, contracción, capacidad de transmisión de agua, distribución y estabilidad de agregados en el suelo. En el segundo experimento además se estableció el cultivo de avena forrajera como parámetro censor.

Contribuciones y Conclusiones: Destacó la acción de los arados de discos y vertedera al registrar la mejor opción para captación y conservación de humedad, propiciando densidades más bajas del suelo y menor resistencia a la penetración pero con mayor endurecimiento de la costra superficial y temperaturas más bajas. El sistema de labranza cero presentó la mejor opción ecológica y agronómica al registrar condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo sin reducir estadísticamente la producción. Por otra parte la aplicación del sistema de labranza reducida mediante el uso únicamente del arado de discos presentó una buena alternativa agronómica al mejorar el aprovechamiento de la humedad, y disminuir el consumo energético.

FIRMA DEL ASESOR PRINCIPAL:



SUMMARY

Enrique Martínez Rubin de Celis

Graduation: October 1997

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Agronomía

Title of the Research Work: Xerosol haplico soil behavior after the use of the tillage implements.

Number of Pages: 127

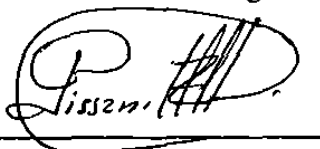
Candidate to obtain the Doctor in Agricultural Sciences degree. Water and Soil Sciences

**Subjects of the Research Work: Agricultural engineering (Physical-mechanical of soil).
Mecanization (Thillage tools and system)**

Aims and Methods of the Research Work: Tillage is one of the principal factors in the alteration of the soil properties, and it is originating serious problems in the structure by scarce knowledge on the interaction of an implement with soil and with the behavior of its properties. This work was accomplished out in the "Region Lagunera" in a Coyote series soil, classified as Xerosol haplico, with the objective of studying the behavior of soil physical-mechanical properties; and to propose alternative preparation for these soils. Two experiments were established; the first experiment of the study consisted on analyzing soil behavior during two agricultural cycles altered by the action of tillage implements, not having cultivation established. Treatments were: disk ploughs, moldboard, subsoil, chisels, the disks harrow and zero tillage. Variables considered for study were: moisture (capture, holding capacity, and conservation), apparent density, temperature, cone index, soundness, break modules, contraction, capacity of water transmission, distribution and stability of soil agregates. In the second experiment furthermore was established forage oat as sensor parameter.

Contributions and Conclusions: Emphasized the action of the disk ploughs and moldboard upon registering the better option for water captation and conservation, sponsoring lower densities and less resistance to the breakthrough but with higher hardening of the superficial crust and lower temperatures. In the second experiment, zero tillage system presented the better option upon registering conditions adapted for the development of crop without reducing production statistically while water supply was not neglected. On the other hand, application of reduced tillage system using only disk plough presented a good agronomic alternative upon improving the utilization of dampness, and reduced the energetic consumption.

Main Advisor Signature:



I. INTRODUCCION

La superficie de la Republica Mexicana es de 196.7 millones de hectáreas, caracterizadas en gran medida por una orografía accidentada, donde únicamente el 36.3 % tiene pendientes menores al 10 %, con una superficie a utilizarse de sólo 31 millones de hectáreas, de las cuales se programaron para la agricultura 20.2 millones en los ciclos Primavera-Verano 1996 y Otoño-Invierno 1996-97; la mayor parte de esta superficie es mecanizada (Trueba, 1996).

La Comarca Lagunera se encuentra entre las zonas más mecanizadas del país, con poco más de 300,000 has dedicadas a la producción agrícola, de las cuales 248,715 se riegan por gravedad y las restantes corresponden a tierras temporeras o de medio riego con condiciones termopluvio-métricas bastante aleatorias para las actividades agrícolas.

La mecanización o acción de efectuar las labores agrícolas mediante el uso de máquinas está originando serios problemas en la estructura de los suelos, debido principalmente al uso inadecuado de los implementos de labranza (Tavera, 1984; Larson y Osborne, 1982; FAO, 1992; Shafer *et al.*, 1992), y al manejo ineficiente del recurso suelo. La ASAE (1994) menciona que el desarrollo de muchas máquinas se ha realizado con poco o ningún conocimiento de los principios básicos de dinámica del suelo, usadas en algunos casos, con posibles efectos destructivos sobre las raíces de las plantas, la relación suelo-agua, la aeración del suelo y la estructura del mismo.

Generalmente, la acción de los implementos de labranza se evalúa considerando la producción de los cultivos utilizados como parámetro indicador y no por el conocimiento científico del efecto propio del implemento sobre las propiedades del suelo (Tavera, 1984). Señalan Alberts *et al.* (1989) que la labranza es quizás uno de los mayores procesos en la alteración de las propiedades del suelo y mencionan que los cambios en la densidad aparente después de la labranza son difíciles de predecir debido al limitado conocimiento de como un implemento interactúa con el suelo, influenciado por la velocidad y profundidad de la labranza y la cohesión.

Normalmente se da muy poca importancia al cuidado de la conservación del suelo como recurso no renovable; sin embargo, se ve afectado grandemente por el uso inadecuado y generalmente excesivo de la maquinaria agrícola, lo que pone de manifiesto la necesidad de estudiar más a fondo el impacto que tiene el uso de la maquinaria agrícola sobre el suelo, y conocer las causas que alteran la relación agua-suelo y así desarrollar, proponer y evaluar

metodologías que permitan elegir los sistemas de labranza adecuados para las diferentes condiciones agroecológicas y socioeconómicas de cada región del país y controlar los efectos nocivos causados por labores inadecuadas o excesivas, por lo que se propone partir de un conocimiento más profundo de los efectos de la labranza y los factores que afectan a la misma, de manera que permita un proceso de adopción (cambio de tecnología) realmente efectivo.

1.1. Hipótesis

i) La acción de los implementos de labranza sobre el suelo Xerosol háplico modifica las propiedades físicas de los mismos, por lo tanto, el uso inapropiado de dichos implementos modificará el comportamiento de las características físicas de estos suelos.

ii) El rendimiento de cultivo de avena forrajera esta influenciado por el sistema de labranza utilizado, por lo tanto, los sistemas propuestos serán una alternativa viable en el manejo del suelo.

1.2. Objetivos

i) Determinar la influencia de los implementos de labranza sobre las propiedades físico-mecánicas del suelo Xerosol háplico.

ii) Evaluar a través de las propiedades físicas del suelo Xerosol háplico y el rendimiento del cultivo de avena, sistemas de labranza diferentes al sistema regional para proponer alternativas en el manejo de sus suelos

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Labranza.

Labranza se entiende como la preparación del suelo o laboreo agrícola (Gavande, 1973) y se refiere a las manipulaciones mecánicas del suelo con el fin de mantenerlo en condiciones óptimas para la germinación y el desarrollo de los cultivos.

Las prácticas y las técnicas de labranza además de preparar el lecho de siembra deseado, también deben contribuir a manejar los residuos de cosecha, incorporar los fertilizantes, mejorar la aireación del suelo, disminuir la compactación y optimizar los regímenes de temperatura y humedad del suelo (Benites, 1992).

El objetivo general de la labranza es modificar por medios mecánicos las condiciones físicas originales del suelo para mejorarlas, de acuerdo a los fines perseguidos, y tienen efectos directos sobre los procesos y propiedades físicas del suelo e indirectos sobre el crecimiento de los cultivos (Benites, 1992)

Dickey *et al.* (1992) Indican que la "labranza" es la manipulación mecánica del suelo y un "sistema de labranza" es la secuencia de operaciones que manipulan el suelo para producir un cultivo, e incluyen: labranza, siembra, cosecha, cortar, picar o desmenuzar los residuos de cosechas anteriores, y aplicación de pesticidas y fertilizantes.

Pla (1989) menciona que la pendiente del suelo puede hacer variar las prácticas y los sistemas de labranza adecuados para un determinado suelo, y que generalmente a mayores pendientes se limitan más las alternativas de los sistemas de labranza a escoger.

En la labranza, el suelo es manipulado por un implemento directamente arrastrado o presionado por el hombre, por animales o por máquinas. Del método manual se pasa al uso de los implementos sencillos de labranza arrastrados por animales, de ahí al conjunto de implementos movidos por tractores, donde los sistemas van desde la llamada labranza conservacionista, con poca manipulación del suelo, hasta sistemas intensivos con gran número y variedad de operaciones de labranza y utilización de insumos. El uso de tractores permite cultivar superficies más extensas en un tiempo, así como hacer un uso más continuo del suelo, lo cual puede influir en la aceleración de los procesos de degradación si el sistema de labranza seleccionado o las prácticas e implementos utilizados no son los indicados. La dependencia energética de costos de combustible y el alto costo de las refacciones pueden ser los factores que limitan la mecanización de las labores de cultivo (Pla y Russo, 1992).

2.2. Sistemas de Labranza.

A pesar de que los principios en que se sustentan los diferentes sistemas de labranza son los mismos independientemente de otros factores, los sistemas apropiados para cada situación son específicos para cada tipo de suelo y cultivo, y su adaptación depende de factores biofísicos y socioeconómicos (Karawasra, 1991). Entre los factores biofísicos a considerar en la selección y aplicación de un sistema de labranza destacan: el clima, el cultivo, las propiedades del suelo, la topografía, el drenaje y los requerimientos energéticos.

Benites (1992) indica que en las reuniones técnicas sobre labranza existe la tendencia a discutir en forma interminable acerca de que términos o definiciones sobre sistemas de labranza son los mejores. El resultado final es siempre una confusión considerable entre los términos de "labranza de conservación", "labranza limitada", "labranza reducida" y "labranza mínima" por una parte, y con "no labranza", "labranza cero" y "labranza química" por la otra. Los problemas de vocabulario de labranza más serios son los términos indefinidos: delimitado, reducido, conservación e inclusive convencional. Este debate sobre términos y definiciones, desde el punto de vista práctico, es de poco valor y debe de prestársele mayor atención a las técnicas y prácticas de labranza, que además de preparar el lecho de siembra deseado, pueden también contribuir a manejar los residuos de cosecha, incorporar los fertilizantes, mejorar la aireación del suelo, disminuir la compactación y optimizar los regímenes de temperatura y humedad del suelo.

La labranza convencional y el mal manejo de los suelos producen modificaciones generalmente desfavorables desde el punto de vista de conservación de algunas propiedades de los suelos, tales como: degradación integral del recurso suelo (propiedades físicas, químicas y biológicas), incremento de las superficies agrícolas con problemas de erosión y pérdida paulatina de la productividad de los suelos agrícolas.

La labranza convencional puede ser definida como el conjunto de operaciones primarias y secundarias realizadas para preparar una cama de siembra para un cultivo dado, en una región geográfica determinada (Mannering y Fenster, 1983). Lo convencional es lo establecido en virtud de costumbres o precedentes y se suele usar el término "tradicional" como sinónimo. Hoy en día se entiende a la labranza convencional como un sistema altamente agresivo en el cual se utilizan herramientas tradicionales frecuentemente con un número excesivo de pases sobre el terreno. La labranza convencional se puede clasificar en: (a) labranza primaria y (b) labranza secundaria, donde la labranza primaria es aquella destinada a abrir por primera vez el suelo, ya sea que se realice con posterioridad a la cosecha del cultivo anterior o en la habilitación de las tierras para la agricultura, siendo las tareas más pesadas que las de refinamiento, ya que se realizan con los

distintos tipos de arados, siendo los más usuales el subsoleador, el de discos, el de rejas o vertedera, el de cinceles y los arados rastra (múltiple o rastrojero) (Mannering y Fenster, 1983).

La labranza secundaria incluye todas las operaciones de refinamiento y nivelación en la preparación de la cama de siembra, las que se realizan con el objeto de mantener el suelo limpio de malezas durante el barbecho, y las de incorporación de herbicidas de presiembra. Las herramientas que se emplean para esta labor, son todos los tipos de rastras (de discos, dientes, rodillos, etc.) escardadores, cultivadores y vibrocultivadores. La elección de herramientas, la secuencia y frecuencia está condicionada por diversos factores:

- Climáticos.
- Edáficos.
- Tipo de tracción.
- Tradicionales o preferencias del agricultor.
- Económicos.
- Tipo de cultivo.
- Influencia del medio (comerciales, técnicas, políticas, etc.)

El suelo es un cuerpo natural complejo y evoluciona como tal, es decir, que sus propiedades son cambiantes y la labranza secundaria cumple con una serie de importantes objetivos en la preparación de una adecuada cama de siembra.

La labranza de conservación es un sistema de laboreo del suelo con características especiales, implica que se deje al menos el 30 % de los residuos del cultivo anterior sobre el suelo (Lal *et al.* 1990). Entre los sistemas de labranza de conservación se incluyen, la labranza mínima, el cincelado, la labranza entre surcos y la labranza cero.

La labranza de conservación, es una práctica de labranza mediante la cual se altera el suelo antes de la siembra con implementos que reducen la pérdida de residuos que se encuentran cubriendo la superficie, con la idea de dejar residuos en niveles mayores al 30 % del cubrimiento en la superficie del terreno (Jiménez, 1996). Menciona Reeder (1992) que en la década de los 80's se definió la labranza de conservación como cualquier sistema de labranza que deje al menos un 30 % de residuos cubriendo el suelo después de sembrar, como protección contra la erosión, pero que a partir de los 90's la definición cambio a sistema de labranza que deja niveles de residuos de cosecha, en niveles suficientes para proteger adecuadamente al suelo de la erosión a través del año, considerándo que el porcentaje de cobertura requerida en el campo varía de acuerdo al tipo de suelo, a la pendiente, a la rotación de cultivos, al tipo de residuo usado para cobertura y otros factores. Suelos razonablemente llanos pueden ser cubiertos con un 10 a un 20 %, mientras que con pendientes pronunciadas se puede requerir de un 50 a un 60 % de cobertura

Tavera (1984) indica que el primer trabajo realizado en México del cual se tenga referencia sobre combinación de implementos de labranza fue el que desarrollaron en la Piedad, Mich., Perry, Gill y Rachie en 1957, donde trabajaron con nueve tratamientos obtenidos por la combinación de: arado de discos, arado de dientes rígidos (cinceles) y rastra de discos; cada uno a niveles de 0, 1 y 2 pasadas, dejando la mitad de las repeticiones sin nivelar, y tomando como indicador la producción de trigo obtenida (bajo condiciones de riego). Concluyeron que el mejor tratamiento en cuanto a nacerencia y posteriormente a producción de grano era el del arado de dientes rígidos seguido de un paso de rastra.

Mata (1967) comparó los sistemas de no-labranza, eliminando de malezas mediante un chapeo, con la labranza convencional para maíz de temporal en el Valle de México, consistente en un barbecho, un rastreo y un surcado; en suelos de la serie Chapingo no encontró diferencias significativas entre los dos métodos de preparación, llegando sin embargo a la conclusión de que la no preparación del terreno retrasaba la floración del maíz de temporal y que no se observaba ninguna interacción entre el tratamiento de preparación del terreno y la fertilización aplicada; recomienda que se intensifique la investigación sobre este tema ya que los resultados obtenidos no presentan consistencia para concluir confiablemente.

Otro de los trabajos realizados en México sobre labranza fue el de Bustamente (1976), quien al trabajar el segundo ciclo bianual de alfalfa pretendía encontrar y ponderar las variables agronómicas y edáficas que expliquen en la forma más eficiente posible, el grado de afección del medio físico del suelo por efecto de labranza, llegando a concluir que:

- Las propiedades edáficas más afectadas por efecto de la labranza fueron los regímenes hídrico y térmico del suelo.
- Con el tratamiento de labranza mínima, los cambios de temperatura del suelo fueron más suaves y lentos.
- El paso adicional de barbecho y arado de subsuelo produjo un incremento significativo en la profundidad de avance del frente de humedecimiento. Asimismo, un solo paso de arado del subsuelo fue necesario para posibilitar la penetración de la humedad, hasta las capas profundas del perfil.
- Al incrementarse el número de pasos de labranza profunda sobre el terreno la porosidad del suelo aumentó hasta mayores profundidades, facilitando la penetración de la humedad hasta capas más profundas, lo cual redundó en un incremento en la difusividad térmica de las mismas.
- El tratamiento de máxima labranza en razón al incremento que genera en la porosidad edáfica ocasionó que la evaporación fuera la principal causa de abatimiento de humedad

edáfica de las primeras capas, incrementando consecuentemente la velocidad de infiltración inicial.

Chapa (1987) realizó un trabajo con la finalidad de estudiar la naturaleza de las propiedades físicas de un Andosol mólico y su cambio bajo la aplicación de laboreo, evaluando la eficiencia energética de los sistemas de labranza, en base a los cambios ocurridos en las propiedades físicas, encontrando lo siguiente:

- Ninguno de los sistemas de labranza estudiados afectan la estructura interna del suelo evaluada por el método Dexter, pero existe una dinámica estructural en el tiempo que este suelo bajo el sistema de labranza cero presentó una mayor porosidad efectiva, produciendo una mayor conductividad hidráulica a saturación, lo cual indica que favorece la conservación del suelo.
- El suelo estudiado manifiesta una porosidad total alta con el predominio de la porosidad textural y baja capacidad de agrietamiento, que no cambian con los diferentes sistemas de labranza.
- Los agregados de este suelo presentaron una resistencia mecánica mayor bajo sistema de labranza cero que la de los otros sistemas.

Este autor indica que según sus resultados la aplicación de energía externa por medio de los implementos no provoca cambios significativos en las propiedades físicas del Andosol mólico; sin embargo, concluye más adelante que el sistema de labranza cero es el más adecuado desde el punto de vista de los regímenes físicos del suelo, ya que disminuyen el riesgo de erosión, es más eficiente energéticamente, provoca una tasa mayor de infiltración, mayor conductividad hidráulica a saturación y a no saturación, manifiesta una porosidad efectiva mayor y menor retención de humedad a diferentes presiones.

Bustillos (1987) evaluó la influencia de dos sistemas de manejo del suelo (labranza tradicional y cero) sobre las propiedades físicas de un Xerosol lúvico y un Cambisol eútrico, comparando los métodos comunes de física de suelos para evaluación de la dinámica del sistema estructural del suelo con métodos modernos que se basan en la modelación matemática. Al cuantificar la energía aplicada al suelo y comparar su magnitud con los cambios de energía interna del sistema estructural del suelo llegó a las siguientes conclusiones:

- Los métodos comunes empleados en los estudios de física de suelos son inapropiados para la investigación de la dinámica de las propiedades físicas de los suelos bajo diferentes laboreos, ya que muestran tendencias poco claras y no significativas estadísticamente.
- El uso de los modelos matemáticos constituyen una alternativa necesaria para la

representación y estudio de los procesos que ocurren en el suelo durante la labranza.

- En el caso de cero labranza, los dos suelos estudiados, Xerosol lúvico y Cambisol eútrico, presentaron mayores cantidades de energía potencial en la fase sólida, lo cual explicaría la mayor retención de humedad de estos suelos.

- Bajo cero labranza, los dos suelos estudiados presentaron mayores valores al medir las siguientes características energéticas: presión de expansión del suelo, presión de succión y presión de atracción interparticular.

- Consecuencia de ello, el Cambisol eútrico disminuyó significativamente su capacidad de agrietamiento. Xerosol lúvico resultó ser un suelo de bajo potencial de agrietamiento en condiciones iniciales de cero labranza. Esta condición se conservó en condiciones de labranza tradicional.

- Xerosol lúvico tuvo una mayor porosidad efectiva en condiciones de no laboreo, lo cual se expresa en una mayor conductividad hidráulica a saturación. Esto podría ser explicado por la continuidad de los poros. Cambisol eútrico presentó mayor conductividad hidráulica bajo condiciones de laboreo tradicional.

La efectividad de los sistemas de labranza para hacer mínimo el daño causado por erosión depende en gran parte de las condiciones de topografía y de la clase del suelo. Lindstrom *et al.* (1979) calcularon el grado de erosión promedio de todos los suelos cultivados en el llamado Cinturón del Maíz, en donde se utilizaban diferentes prácticas de labranza, y se encontró que para la llamada labranza convencional (barbecho en otoño, disqueo y siembra) la erosión promedio fue de 21.5 toneladas métricas por hectárea por año; cuando se usaron cinceles y se dejó cerca de 4 toneladas de residuos de cosecha sobre la superficie del suelo, la erosión promedio fue 8.7 toneladas por hectárea por año y para no labranza (labranza cero) con 4 toneladas de residuos sobre la superficie, la erosión promedio se redujo a 6.7 toneladas por hectárea por año. Estos autores consideran que la tolerancia en pérdidas de suelo es de 9 toneladas por hectárea por año.

Al respecto, Smart and Bradford (1996) indican que los sistemas de producción con labranza de conservación pueden ayudar a reducir la erosión y la evaporación de la humedad, además de reducir los costos de producción por hectárea, por efecto de pasadas de cuadro, compactación del suelo, trabajo, mano de obra, combustible y necesidades de equipo, concluyendo que en el primer año puede que los rendimientos sean más bajos que en el sistema convencional, pero después son equivalentes o superiores. Francis and Knight (1993) concluyeron que es evidente que la historia previa de cultivo, el contenido de materia orgánica y las condiciones físicas prevalecientes puedan tener una gran influencia en las propiedades físicas bajo

labranza convencional y no-labranza.

Torcasso (1992) propone partir de un conocimiento más profundo de los efectos de la labranza y los factores que afectan a la misma, de manera que permita un proceso de adopción (cambio) realmente efectivo .

Pla (1989) señala que los sistemas y prácticas de labranza deben buscar evitar la formación de capas originadas por efecto del tráfico de vehículos y maquinaria o por el uso inadecuado de ciertos implementos; romper y mezclar horizontes o capas cuando ya existen en condiciones naturales o fueron formadas por efecto de sistemas previos de cultivo. Con ello se busca permitir una mayor profundización de las raíces y una mayor infiltración y conservación del agua utilizable en el perfil del suelo.

2.3. Labranza y las propiedades físicas del suelo.

2.3.1. Estructura.

Russel (1955) llegó a la conclusión de que ningún sistema de manejo puede ser aplicado constantemente a un suelo si no es capaz de mantener la estructura del mismo, definiendo la incapacidad de un sistema de labranza para conservar la estructura del suelo como la característica determinante de la ineficiencia entre sistemas de manejo agrícola, ya que la estructura del suelo es una de las propiedades más importantes del mismo por ser el responsable de la eficiencia de los regímenes físicos para los cultivos agrícolas.

La evaluación de dos sistemas de labranza tradicional y cero en un suelo Xerosol lúbrico y un Cambisol éutrico -de México- se efectuó con base en la dinámica de sus propiedades estructurales. Se definió como un sistema de labranza óptimo aquel que fuese energética y agronómicamente eficiente, y como sistema de labranza energéticamente eficiente se entendió aquel capaz de equilibrar la cantidad de energía externa aplicada al suelo por los implementos en el proceso de su preparación con el cambio de energía interna del sistema estructural. La labranza eficiente agronómicamente se definió como aquella que favorece la formación de los elementos estructurales de validez agronómica para la zona climática determinada. La labranza cero fue considerada eficiente energética y agronómicamente para el Xerosol lúbrico. Contrariamente, el Cambisol éutrico presentó mejores condiciones físicas bajo labranza tradicional, la cual fue energéticamente excesiva en ambos suelos (Oleschko, 1989).

2.3.2. Agregados.

Gregorich *et al.* (1993) en base a un estudio realizado sobre un suelo degradado que fue trabajado 20 años con arado de vertedera y dejado en descanso por tres años para luego establecer un sistema de no-labranza, sugieren que suelos degradados con baja estabilidad estructural pueden inicialmente sufrir deterioro con la eliminación de la labranza, debido a la reducción o pérdida de poros formados mecánicamente. Indican que no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos de labranza (no-labranza y arado de vertedera) para la conductividad hidráulica, porosidad y resistencia a la penetración en la superficie (0-5 cm), y que las determinaciones de resistencia a la penetración y conductividad hidráulica a saturación *in situ* (usando el método del permeámetro) fueron sensitivos a los cambios estructurales que ocurrieron en la profundidad de 5-20 cm, donde además la conductividad hidráulica a saturación fue significativamente mayor en el tratamiento de arado de vertedera. La resistencia indica significativamente mayor fuerza del suelo entre los 10-20 cm de profundidad para la no-labranza. La estabilidad de los agregados en húmedo fue realizada dos veces durante la estación de desarrollo y la no-labranza resultó en suelos mejor agregados.

2.3.3 Temperatura.

Cox *et al.* (1990) investigaron la influencia de la labranza sobre la temperatura del suelo, uso del agua y el intercambio de CO₂ sobre el crecimiento del maíz, encontrando que durante los primeros días después de la emergencia del cultivo los tratamientos de cero labranza y de laboreo en surcos tuvieron una temperatura de 1°C más frío que en los de labranza tradicional; concluyeron que las bajas temperaturas registradas en la labranza cero se asocian también a la menor cantidad de área foliar y a la menor producción de biomasa en toda la etapa vegetativa.

Campos (1996) al evaluar la labranza de conservación y la tradicional en la producción de soya y su influencia en las propiedades físicas del suelo en un suelo arcilloso, concluyó que la temperatura del suelo fue más alta en los tratamientos de labranza tradicional que en los de labranza de conservación, pero en la etapa de floración fueron menores en la labranza de conservación; finalmente la labranza tradicional se mantuvo 2.2°C arriba. Por otro parte, la velocidad de infiltración fue mayor en la labranza de conservación, y la densidad aparente por el contrario fue mayor para la labranza tradicional, lo cual considera es consecuencia del reacomodo de los agregados del suelo (<2.0 mm).

2.3.4. Densidad.

Después de seis años de estudiar los efectos de sistemas de labranza mecanizada continuos sobre la producción de maíz en Nigeria, Lal (1985) encontró que la densidad aparente en los primeros 10 cm de profundidad decreció de 1.43 g/cm^3 a 1.40 g/cm^3 para el sistema de no-labranza, mientras que ésta se incrementó de 1.37 g/cm^3 a 1.53 g/cm^3 para la labranza convencional.

La labranza del campo es importante para mantener un equilibrio en la porosidad del suelo. Luttrell *et al.* (1977), midieron los cambios la densidad del suelo producida por secuencias convencionales de operaciones de labranza, e indican que el arado de vertedera produce una importante reducción de la densidad aparente del suelo y, por consecuencia, un incremento en la porosidad; todas las operaciones de labranza subsecuentes con rastras de discos y rastras con herramientas de punta tienden a reducir significativamente la porosidad de los altos niveles alcanzados por el arado de vertedera; todas las secuencias de operaciones de labranza resultaron en incrementos significativos de porosidad en los primeros 15 cm de profundidad; los arados de vertedera y de cinceles fueron efectivos en la reducción de densidad hasta su profundidad de trabajo.

2.3.5 Humedad.

Phillips *et al.* (1980) reportan que "exceptuando unas cuantas situaciones poco usuales el contenido de humedad del suelo es casi siempre mayor bajo sistemas de no-labranza que bajo la labranza convencional". Esto se atribuye a la reducción de pérdidas debido a la cobertura sobre la superficie. Sin embargo, existe considerable evidencia de que los sistemas más continuos de macroporos se desarrollan bajo condiciones de no-labranza. Al respecto se tiene que las prácticas de labranza de conservación en las que se dejan residuos de cosecha en la superficie del suelo pueden llegar a aumentar el grado de infiltración del agua de este suelo. Onstad y Otterby (1979) estimaron que este tipo de labranza puede llegar a aumentar el agua retenida en un suelo donde se cultiva maíz en surcos, desde 0.5 cm en suelos con rangos moderados de infiltración, hasta 5.0 cm; en suelos con rangos muy bajos de infiltración el aumento puede variar desde 2.5 a 12.5 cm, lo que puede dar idea de como ayudan estas prácticas a disminuir el escurrimiento superficial haciendo más eficiente el uso del agua.

Catalán (1992) menciona que en los estudios de compactación de suelos es común que la densidad aparente sea utilizada como índice de comparación relativa; sin embargo, esto no

proporciona una evaluación de los cambios que presentan los cambios hidrológicos de los suelos relacionado con los procesos de infiltración, movimiento del agua a través del suelo y escurrimiento superficial potencial. El uso de la sortividad como índice de caracterización de suelos compactados deberá proporcionar información más significativa, concluyendo que la sortividad es un parámetro físico que posee bases teóricas y que caracteriza en gran medida el transporte del agua en un suelo.

2.3.6. Conductividad hidráulica.

Benjamín (1993) en un estudio realizado para determinar los efectos de tres sistemas de labranza (arado de vertedera (AV), arado de cinceles (AC) y no-labranza) sobre las propiedades hidráulicas del suelo, encontró que el sistema con AV incrementó el volumen de poros > de 150 μm de radio, por 23 % a 91 % comparado con el sistema de no-labranza. En cuanto a la conductividad hidráulica no-labranza tuvo de 30 a 180 % mayor conductividad hidráulica que cualquiera de los otros sistemas. Asimismo, indica que la determinación de la distribución y tamaño de poros o de la densidad aparente no son suficientes para el análisis de los efectos de la labranza sobre las propiedades de flujo del agua, y que la determinación de la conductividad hidráulica fue un mejor indicador de los efectos sobre las propiedades hidráulicas del suelo. El sistema no-labranza tuvo mejor o mayor conductividad hidráulica que los sistemas de los arados de vertedera y de cinceles, debido a una mayor continuidad de los poros o al flujo de agua a través de pocos poros muy largos. Al respecto, Pissani (1993), indica que el criterio de clasificación de la conductividad hidráulica más utilizado es el propuesto por O'Neal y Uhland el cual se presenta en el Cuadro 1.

Blank and Fosberg (1989) encontraron que los suelos cultivados tienen menos porosidad en el horizonte Ap (p: horizonte superficial perturbado por el laboreo agrícola) pero más en el horizonte Bp que campos vírgenes adyacentes, lo que atribuyen a la abundancia de poros interped empacados en el horizonte Ap de los campos cultivados. Las prácticas de administración por labranza de conservación, maximizan la retención de residuos sobre la superficie y el contenido de materia orgánica cerca de la superficie, resultando en una reducción en las pérdidas por evaporación, incremento en la infiltración de la lluvia, reducción de escurrimiento del agua y reducción del peligro de erosión tanto eólica como hídrica. Estas prácticas de administración además promueven la conservación del suelo, reducen la energía, trabajo y costos de producción, incrementan la microporosidad, promueven la agregación, y el incremento en la actividad biológica (Unger and McCalla, 1980; Blevins *et al.* 1983, 1984; Phillips and Phillips, 1984;

Cuadro 1. Clasificación de la Conductividad hidráulica según el criterio de O'Neal y Uhland.

C L A S E	Conductividad hidráulica	
	(cm/hr)	(m/día)
Extremadamente lenta	hasta 0.125	hasta 0.03
Muy lenta	0.125 - 0.500	0.03 - 0.12
Lenta	0.500 - 2.000	0.12 - 0.48
Moderada	2.000 - 6.250	0.48 - 1.50
Rápida	6.250 - 12.50	1.50 - 3.12
Muy rápida	12.50 - 25.00	3.12 - 6.00
Extramadamente rápida	25.00 o más	6.00 o más

(Fuente: Pissani 1993)

Así mismo Francis and Knight, (1993) reportan que la capacidad de campo y el contenido de agua disponible (cc-pmp) fue mayor en no-labranza en la profundidad 0-7.5 cm. El volumen de macroporos (volumen de poros drenados de agua a capacidad de campo) fue significativamente menor en no-labranza sólo en la profundidad 0-20 cm no encontrándose diferencias a mayores profundidades. El contenido de agua en el suelo a pmp (correspondiente al volumen de poros < 0.2 micromilímetros de diámetro) no fue afectado por los tratamientos de labranza. Por otro lado, indican que la porosidad total fue significativamente mayor en labranza convencional a profundidad de 0-15 cm.

2.3.7. Porosidad.

La macroporosidad es un índice útil para medir la respuesta del suelo a los diferentes sistemas de manejo y de labranza del suelo (Carter, 1988).

La porosidad en los suelos reviste gran importancia tanto para la preservación ecológica como para la producción agrícola, ya que es uno de los principales reguladores del comportamiento de los procesos físicos que se llevan a cabo en el suelo, y cuyo comportamiento ha sido grandemente estudiado (Wang *et al.*, 1994; Kaurichev *et al.*, 1984; Chancellor, 1977; Forysthe 1975; Söhne 1958; Luttrell *et al.*, 1977; Francis and Knight, 1993; Benjamín, 1993; Gregorich *et al.*, 1993; Blank and Fosberg (1989); Anderson *et al.*, 1990; Drees *et al.*, 1994;

Solé *et al.*, 1991) , sin que hasta la fecha se logre contar con modelos que permitan predecir su comportamiento bajo condiciones naturales, menos aún las que se originan debido a la alteración del suelo por efecto de los implementos de labranza y del uso de los agroquímicos destinados a incrementar la productividad de los mismos.

La porosidad del suelo y la distribución del espacio poroso son parámetros útiles para calcular las condiciones físicas y estructurales de éste, siendo en muchos casos la distribución del espacio poroso el mejor indicador de las condiciones físicas y factores asociados con la porosidad como volumen de macroporos, continuidad de poros y espacio poroso lleno de aire, ya que son importantes guías para caracterizar la estructura del suelo (Carter, 1993).

Los estudios de la estructura del suelo o de labranza, requieren información sobre macroporosidad ($> 50 \mu\text{m}$). Asimismo, los estudios sobre infiltración y de flujo preferencial del agua, requieren información sobre poros $> 1 \text{ mm}$ de diámetro equivalente de poro (Luxmoore *et al.* 1990).

Uno de los principales efectos de la reducción del espacio poroso es la reducción de la cantidad de aire en los poros, con lo que se reduce el rango de elongación de las raíces y su crecimiento, porque la actividad biológica en el suelo decrece el ya limitado suministro de oxígeno que rodea a las raíces, e incrementando el dióxido de carbono. La difusión de gases a través del espacio poroso del suelo libera dióxido de carbono y repone oxígeno (Chancellor, 1977). Al respecto, Vomocil y Flocker (1961) concluyen que a niveles de porosidad de aeración menores al 10 % cuando el contenido de humedad es a capacidad de campo, pueden esperarse restricciones en el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas.

Desde el punto de vista agronómico es conveniente que los suelos tengan poros capilares, pero en porcentaje no mayor del 20 al 25 % de la porosidad total, ya que en caso contrario al encontrarse en su máxima capacidad de absorción de humedad se vería reducido el volumen de poros de aeración (Kaurichev *et al.*, 1984). Baver *et al.* (1980) al respecto mencionan que el suelo ideal es el que tiene el espacio poroso dividido por igual entre poros pequeños y grandes, ya que tal suelo tiene en grado suficiente buenas propiedades de aeración, permeabilidad y retención de agua. Por otro lado, Narro (1987) indica que la importancia agrícola de la porosidad del suelo es muy grande y que sus características dependen de la textura, estructura, contenido de materia orgánica, tipo de intensidad de cultivos, labranza y otras características del suelo y su manejo. Asimismo Wang *et al.* (1994) mencionan que los parámetros hidrológicos y geométricos de los macroporos son esenciales para modelar el transporte del agua y los solutos a través de los macroporos contenidos en el suelo, y para propósitos ecológicos ya que muchos de estos son madrigueras de animales, los cuales pueden tener diferentes características

geométricas dependiendo del tipo de animal, de su vida histórica y de las condiciones del medio ambiente; además, la geometría de las madrigueras puede servir como un indicador del comportamiento ecológico.

Kaurichev *et al.* (1984) presentan una apreciación de las condiciones del suelo en base a su porcentaje de poros (Cuadro 2).

Cuadro 2. Apreciación de la porosidad total del suelo.

Porosidad total %	Apreciación cualitativa
> 70	Porosidad excesiva. Suelo esponjoso
55-65	Porosidad excelente. Capa arable del suelo bien cultivada.
50-55	Porosidad satisfactoria para la capa arable
< 50	Porosidad no satisfactoria para la capa arable
40-25	Porosidad demasiado baja. Típica de horizontes iluviales compactados

(Fuente Kaurichev *et al.* 1984)

El suelo se compacta cuando la porción total del volumen de poros de aeración en relación al volumen total de suelo es inadecuado para lograr un máximo desarrollo de los cultivos o un eficiente manejo de campo. Cuando el desarrollo de los cultivos es inadecuado y el suelo aparece duro, es señal de que la compactación puede estar implicada y es importante realizar determinaciones cuantitativas para hacer un diagnóstico exacto del problema (Chancellor, 1977).

2.3.8. Compactación.

Uno de los principales problemas de los suelos agrícolas a nivel mundial es la compactación, la cual está muy ligada con los problemas de irrigación, drenaje y con el desarrollo de las plantas entre otros, originando un marcado incremento de la fuerza requerida para realizar la labranza y una considerable reducción en la producción. Threadgill (1982), manifiesta que de las principales causas de la compactación del suelo, la de mayor proporción es la compresión mecánica; es decir, la originada por las presiones y deformaciones resultantes de la labranza y del tráfico de vehículos.

La compactación del suelo puede ser considerada, en términos de porosidad y densidad del suelo, como la infiltración del agua o resistencia a la penetración, y es la porosidad el

termino más significativo al discutirse sobre compactación del suelo, porque describe directamente la porción del volumen de suelo disponible para las raíces de las plantas y para el agua y el aire que se requiere (Chancellor, 1981).

Los investigadores de Deere (1976) indican que si el suelo se cultiva cuando el contenido de humedad es demasiado alto y luego se deja secar se formarán terrones extremadamente duros que más tarde serán difíciles de romper.

La aparición de fenómenos tales como la compactación y endurecimiento es un problema que se incrementa debido frecuentemente al uso de maquinaria pesada. La habilidad de un suelo para resistir o recobrase de la compactación depende de la elasticidad, un proceso complejo en el cual algunos factores tales como los naturales o humanos inducidos son involucrados sin considerar el clima y el sistema de cultivo, y para el cual los suelos de textura de cuarzo y aquellos con una fracción de arcilla no expansiva en su naturaleza son menos resistentes.

2.3.8.1. Tráfico controlado.

Braunack *et al.* (1995) señalan que el tráfico controlado ha sido sugerido como un medio para mejorar las condiciones del suelo, lo cual además puede conducir a incrementar la producción de los cultivos, ya que se restringe la compactación del suelo a carriles, siendo un sistema que ayuda a mantener una zona más favorable para el desarrollo de las plantas.

Al respecto Chávez *et al.* (1994) presentan también como alternativas contra el incremento de los costos de producción por los altos consumos de energía y la reducción de la productividad originados por compactación; (1) Reducir el uso de los vehículos sobre los suelos agrícolas, (2) Considerar que cuando el suelo está en estado friable ofrece condiciones mecánicas favorables para la aradura.

Se considera que el grado de compactación para optimizar la tracción y movilidad es completamente diferente que para optimizar la infiltración del agua y la propagación de las raíces. Así, las necesidades para la optimización de varios aspectos de cualquier sistema de producción de cultivos debe ser considerado sobre una base, y es imperativo que la compactación sea considerada como un factor que puede ser manejado en los sistemas de producción de cultivos, a lo que Shafer *et al.* (1992) perciben tres funciones generales del manejo de la compactación en la producción de cultivos:

- Proporcionar óptima movilidad y tracción para el movimiento oportuno de maquinaria a través del campo.
- Proporcionar un medio ambiente óptimo para las plantas.

- Proporcionar una conservación óptima de los recursos agua-suelo.

Kayombo and Lal (1993) resumen que en las regiones áridas y semi-áridas de Africa, el mejoramiento de los suelos compactados solo puede realizarse por dos métodos; un método consiste en el uso de sistemas de labranza bajo tráfico controlado, del que resulta un aflojamiento de la zona radicular y un suelo firme para el tráfico, y de ese modo se proporciona un buen desarrollo a las plantas buena, traficabilidad para la realización oportuna de las operaciones de campo. El segundo método consiste en el uso de técnicas mecánicas de aflojamiento del suelo, ya sea por aradura, con tracción animal o con la fuerza del tractor, cinceleo, o rompiendo a profundidad con arado subsoledor. El efecto del aflojamiento mecánico siempre tiende a ser de corta duración si no se realiza bajo el sistema de tráfico controlado.

Al respecto, Braunack *et al.* (1995) señalan que el tráfico controlado ha sido sugerido como un medio para mejorar las condiciones del suelo, lo cual además puede conducir a incrementar la producción de los cultivos, ya que el tráfico controlado restringe la compactación del suelo a carriles, siendo un sistema que ayuda a mantener una zona más favorable para el desarrollo de las plantas. Las mediciones del índice de cono indicaron que no hay extensión lateral de la compactación de los carriles de tráfico hacia el suelo en sistemas de tráfico controlado, en el área de desarrollo de las plantas. Ellos mismos concluyen que hay una tendencia a incrementar la proporción de agregados de 1-5 mm y a reducir la proporción de los mayores de 15 mm con la siembra directa bajo tráfico controlado, comparado contra el sistema convencional de crestas.

2.3.8.2. Resistencia a la penetración.

La resistencia a la entrada de un penetrómetro en el suelo, al igual que los rangos de infiltración del agua, son indicadores secundarios de la compactación del suelo y no mediciones físicas directas de una condición específica. Además, la infiltración del agua es afectada por muchos otros factores junto con la compactación del suelo. El más importante de estos factores es el contenido de humedad del suelo, el cual regularmente sobrepasa la influencia de las diferencias de densidad en el suelo; la densidad aparente no puede ser inferida con precisión en base a las lecturas del penetrómetro, si el contenido de humedad no es conocido (Chancellor, 1981).

Toda la resistencia física a la penetración tiende a obstruir al normal crecimiento radical (Baver *et al.* 1973). A lo que Forsythe y Huertas, (1979) indican que la resistencia a la penetración es una medida de campo práctica y rápida, y que los valores limitantes para la

penetración de raíces medidas por un pistón de tamaño dado parecen menos variables que los valores de densidad aparente y menos dependientes en el suelo medido, así su tendencia refleja un parámetro de cultivo de más generalizada aplicación.

Ayers y Perumpral, (1982) señalan que las pruebas a la penetración fueron desarrolladas como métodos fáciles y simples para obtener información *in situ* sobre la dureza de un suelo, y que una prueba a la penetración incluye manejar (empujar) un penetrometro hacia adentro del suelo a un cierto rango y registrar la fuerza ejercida por éste sobre el penetrómetro, y que uno de los penetrómetros que ha tenido gran aceptación y una gran variedad de aplicaciones es el penetrómetro de cono desarrollado por United States Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, para determinar la traficabilidad del suelo. Indica ASAE (1993) que el penetrometro de cono, es recomendado como un dispositivo de medición para proporcionar un método uniforme estandarizado con características a la resistencia de los suelos a la penetración y a la fuerza requerida para presionar un cono de 30° a través del suelo expresados en kPa que es la unidad de la fuerza del suelo llamada "Índice de Cono". La resistencia del suelo a un instrumento de sondeo es un índice integrado de la compactación del suelo, el contenido de humedad, la textura y al tipo de mineral de arcilla; es un índice de la resistencia del suelo en las condiciones de la medición (Baver, 1973).

2.3.9 Resistencia al corte.

La resistencia de un suelo al corte está determinada por su firmeza mecánica, la cual consiste en dos componentes: fuerza cohesiva (inherente a las propias partículas del suelo) y fuerzas de fricción (desarrolladas por los agregados), donde los valores de ambos componentes varían considerablemente dependiendo del tamaño de partículas, contenido de humedad, composición y concentración de los iones en la solución del suelo, contenido de materia orgánica, tipo de arcilla y antecedentes de manejo del suelo.

2.4. Dinámica del suelo.

La dinámica de suelos es una disciplina ingenieril que es estudiada y practicada en todo el mundo para expresar la interacción fundamental suelo-máquina, requerida en el diseño y uso de máquinas y vehículos (ASAE, 1994).

Las propiedades dinámicas del suelo contienen la clave a la solución del problema de la interacción suelo-maquina al medir los parámetros de operación básicos los suelos transitados

por máquinas. Es de interés mundial el identificar y medir esas propiedades dinámicas, que parecen ser quienes gobiernan el comportamiento suelo-máquina, así como desarrollar teorías de tipos específicos de manipulaciones de suelo por máquinas.

Intentar combinar toda la información para crear diseños lógicos de suelos abordados por máquinas es hoy en día el papel de la dinámica de suelos para resolver problemas y desarrollar tecnologías para equipos que se mueven de un lado a otro y a través del suelo.

Las propiedades de estado describen un material sin tomar en cuenta el uso que se intente dar. Por ejemplo, un alambre puede ser caracterizado por su composición química, densidad y color; estas son propiedades de estado. Por otro lado, las propiedades de comportamiento describen la reacción de un material a un sistema de fuerzas que se le aplique. Se utiliza un implemento para aplicar fuerzas al suelo, éste se mueve y su condición cambia. Las propiedades del comportamiento (como son; su capacidad de captación y de retención de humedad, movimiento de agua, compactación, formación de costras y capas impermeables, etc.) deben de ser usadas para describir su acción. Desafortunadamente, en el pasado las propiedades de estado (los intrínsecos del suelo como lo son la estructura, densidad aparente, distribución de espacio poroso, estratificación del perfil, etc.) principalmente contenido de humedad y densidad han sido frecuentemente los parámetros primarios usados para describir el comportamiento de la labranza. Sin embargo, a menos que las relaciones entre las propiedades de comportamiento y de estado sean únicas y bien conocidas, el uso de propiedades de estado para describir la acción dinámica de la labranza no es una aproximación racional. Las propiedades de estado han sido usadas porque son más obvias y más fácilmente cuantificables que las de comportamiento, ya que estas últimas son muy difíciles de cuantificar, pero se debe atacar y completar la tarea.

En agricultura, se aplican sistemas activos de fuerza (labranza) para preparar el suelo, que cambia desde su condición inicial hasta una condición final como resultado de las fuerzas aplicadas y del movimiento del suelo resultante. Cooper y Gill (1966) ilustraron esta idea con la relación conceptual de una manera simple y sin rigor matemático:

$$S_f = f(S_i, F) \dots \dots \quad (1)$$

Donde:

S_f = Condición final del suelo.

S_i = Condición inicial del suelo.

F = fuerzas mecánicas aplicadas al suelo.

Con respecto a la ecuación 1, los trabajos de Durlap y Weber (1971) y de Kumar y

Weber (1974) sugieren interacciones complicadas. Ellos encontraron que la condición final del suelo tiene alguna dependencia en la trayectoria del esfuerzo de las cargas aplicadas. Sus resultados sugieren que la eficiencia de energía de un sistema de fuerzas aplicada para crear una condición final en el suelo puede diferir de otro sistema de fuerzas aplicado para crear la misma condición final. Por lo tanto, la eficiencia de energía en los procesos de labranza dependerá de cómo aplique la maquinaria de labranza la fuerza al suelo. La dinámica del suelo involucra definir la ecuación antes mencionada en términos rigurosamente matemáticos, en lugar de hacerlo conceptualmente.

2.5 Labranza y energía.

La agricultura mecanizada en Norte América y Europa emplea la energía en términos de consumo de combustible líquido, y al aumentar las superficies mecanizadas, el uso de la mano de obra ha disminuido, sin dejar por esto de existir regiones donde aún se trabaja completamente a mano o mediante el uso de la fuerza de los animales de tiro, debido principalmente a lo accidentado de las regiones o a la dificultad para acceder a ellas. A principios del siglo XX el agricultor norteamericano gastaba 150 minutos produciendo 25 kg de maíz; en 1965 empleaba 61 minutos y actualmente necesita menos de 3 minutos para producir los mismos 25 kg (Hayes, 1976). Resulta evidente que una de las fuentes más considerables de energía que llega al suelo es el laboreo, pero el diseño de la mayoría de los implementos agrícolas se efectúa basándose en la experiencia de los ingenieros agrónomos, y no en base a los conocimientos teóricos exactos sobre la naturaleza de la interacción de las características físicas y las fuerzas que pueden modificarlas (en el caso del laboreo, estas fuerzas están determinadas por la cantidad de energía aplicada). Como resultado los implementos agrícolas que se usan para preparar el terreno a menudo aplican cantidades excesivas de energía, y entonces no tendrán la condición requerida por el suelo, desde el punto de vista de su productividad. El aumento de la eficiencia de trabajo de los equipos señalados supone un incremento de varias veces en la eficiencia del uso de energía que aplican al suelo (Singh y Singh, 1986; ASAE, 1994)

Al respecto Martínez y Pissani (1995) indican que la intensidad de la labranza está directamente relacionada con el consumo energético, y que ésta es un buen indicador de la eficiencia de los implementos, ya que la magnitud de la energía que se maneja en la relación suelo-implemento depende de la profundidad promedio de labranza, anchura de corte del implemento, velocidad de desplazamiento, uniformidad del laboreo etc. en sí, agrupados en el término "intensidad de labranza".

Chancellor (1981) y posteriormente, Keenner *et al.* (1991) señalan a los daños de la excesiva compactación del suelo como los causante en la reducción de la producción de los cultivos y el incremento en los requerimientos de energía para la labranza, debido a que la fuerza del suelo y la resistencia a la penetración son afectadas directa e indirectamente por la compactación del suelo, ya que directamente puede incrementar la impedancia mecánica del suelo, e indirectamente puede causar tal degradación a la estructura que incluso después de labrado el suelo éste queda sujeto a altas fuerzas de tensión y compresión.

A partir de una revisión de literatura, Crosson (1980) concluye que la no-labranza ahorra de 26 a 37 litros/ha (3 a 4 galones/acre) de combustible diesel y que otras formas de labranza de conservación ahorran de 9 a 26 l/ha (1 a 3 gal/acre) cuando se emplea la labranza convencional. Cerca del 2.5 % de la energía total consumida en los Estados Unidos es usada en la agricultura, y de este 2.5 % la labranza emplea casi el 5 %. Los mayores campos de consumo de la energía son: fertilizantes, 33 %; y pesticidas, 5 %. Otros usos significativos de la energía son; cosecha, transporte, protección contra heladas y manejo de productos. Aun cuando la labranza significa un porcentaje muy pequeño en el consumo total de la energía, existe un ahorro potencial con el uso de mejores prácticas de labranza.

Bustillos (1987) concluye que la cantidad de energía que se maneja en el sistema suelo-implemento es un parámetro de fundamental importancia en los estudios de la dinámica de las propiedades físicas de un suelo y que la definición final sobre eficiencia energética de un sistema de manejo de suelo debe basarse en un coeficiente que compare la energía externa aplicada al suelo durante la labranza con la energía interna del sistema estructural del suelo, y además:

- Para los dos suelos estudiados bajo laboreo tradicional, encontró que la energía aplicada al suelo durante la labranza fue excesiva con respecto a la energía requerida para lograr los cambios ocurridos en el tamaño de los elementos estructurales, y que en los casos de los suelos pesado y arenoso la energía aplicada fue de 2 y de 26 % mayor, respectivamente, que la energía requerida.
- un suelo pesado requiere mayor cantidad de energía que un suelo ligero para que se efectúe un cambio similar en el tamaño de los elementos estructurales.

La energía total usada en tres sistemas de labranza para maíz en cuatro suelos de Indiana se presenta en el Cuadro 3. (Griffith and Richey, 1977). El combustible empleado para la labranza convencional, cinceles (cultivadora) y no-labranza fue de 320, 228 y 91×10^3 Kcal/ha respectivamente, la energía total usada para control de malezas convencional (herbicida al voleo), convencional (herbicida en banda), cinceles (cultivadora) y no-labranza fue de 791, 648, 698 y 596×10^3 Kcal/ha, respectivamente. El ahorro total en equivalente de combustible comparado

con el convencional (herbicida al boleo) fue de 15, 10 y 21 l/ha para el convencional (herbicida en banda), cinceles (cultivadora) y no-labranza respectivamente.

Cuadro 3. Energía total para labranza, siembra y control de maleza (adaptado de Griffith *et al.*, 1977).

Sistema de labranza	Requerimientos de energía en Kcal/ha			Total	Equivalente en combustible diesel
	Combustible	Indirecto de Maq*	Control de malezas		
Convencional 1	320	160	311	791	85.6
Convencional 2	130	160	147	648	70.1
Cinceles	228	114	342	698	75.5
No-labranza	91	46	408	596	64.5

* Se supone que la energía utilizada en la fabricación de maquinaria es la mitad del consumo de combustible.

Phillips *et al.* (1980) calcularon que se puede alcanzar un ahorro de 46 % en consumo de energía debido a la no-labranza si se compara con la labranza convencional para maíz (728×10^3 vs 395×10^3 Kcal).

La compactación del suelo debido a acciones previas de labranza y a tráfico de llantas puede tener un efecto considerable sobre la energía requerida para la labranza en el siguiente ciclo. Voorhees (1980) encontró que el consumo de combustible diesel durante el barbecho con vertedera aumentó de 25.6 a 34.6 l/ha cuando los pasos previos con un tractor aumentaron de 0 a 5 sobre un suelo migajón arcilloso.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización Geográfica de la Región Lagunera

La Región Lagunera está localizada en la zona denominada Meseta del Norte, ubicada en la parte sur occidental del estado de Coahuila y en la media oriental del estado de Durango (Figura 1). La altitud de toda la Región fluctúa entre los 1,050 y 1,300 metros sobre el nivel del mar (msnm) entre los meridianos 101° 40' y 104° 61' de longitud oeste de Greenwich y entre los paralelos 24° 59' y 26° 53' de latitud norte. Se encuentra limitada al oeste y sur por la sierra Madre Occidental y hacia el este y norte por los bolsones y sierras aisladas; comprende 15 municipios en total, de los cuales 5 corresponden al estado de Coahuila y 10 al estado de Durango, teniendo una extensión total de 47,887.5 km². De esta superficie solamente es susceptible de irrigarse 248,715 ha.

3.2. Areas de estudio

Este trabajo se realizó en la Región Lagunera en suelos de la serie Coyote, en terrenos del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA INIFAP-SAGAR) ubicado en la margen derecha del Canal Sacramento, en Gómez Palacio, Dgo, y en el Instituto Tecnológico Agropecuario de la Laguna (ITA 10), ubicado en el Km 7.5 de la carretera Torreón-San Pedro.

3.3. Clima

Según Koeppen modificado por García (1973), la Región Lagunera tiene clima seco desértico o estepario cálido, con régimen de lluvias en el verano, e inviernos frescos. El promedio de precipitación pluvial es de 258 mm anuales. La temperatura media anual es de 21.0 °C, con rangos de 33.7 °C como máxima y 7.5 °C como mínima.

Las heladas se presentan de noviembre a marzo y ocasionalmente en octubre y abril; la mayor incidencia de granizo ocurre en mayo y junio, con un promedio regional de 1.3 granizadas por año. La evaporación media total es de aproximadamente 2,000 mm anuales, lo que hace una relación precipitación- evaporación 1:10.

REGION LAGUNERA



Figura 1. Localización de la Región Lagunera

La humedad relativa en la Región varía según las estaciones del año, cuyo promedio general durante el día es el siguiente: primavera 31.3 %, verano 46.2 %, otoño 52.9 %, invierno 44.3 %.

Según la clasificación de C. W. Thornthwaite, el clima de la Región Lagunera es muy seco, con deficiencias en lluvias durante casi todo el año, temperaturas semicálidas, pero con invierno benigno. La temperatura media anual observada a través de 40 años (1941-1981) es de 20.7°C; por otra parte, el promedio de las temperaturas máximas y mínimas son de 26.6°C y 4.8°C, respectivamente. Las lluvias son escasas en la Región, la precipitación media anual en el período 1941-1981 fue de 241.4 mm, variando entre 77.8 y 434 mm. El periodo de máxima precipitación pluvial queda comprendido en los meses de junio a septiembre.

3.4. Suelos

Los suelos de la Región Lagunera están comprendidos dentro del grupo Sierozem, de acuerdo a la clasificación mundial. Los suelos de este grupo son de color café grisáceo, de bajo contenido de materia orgánica, con horizontes de acumulación de yeso y cal cerca de la superficie (cuando hay por lo menos una incipiente intemperización) y con tendencia a acumular sales de sodio.

De acuerdo a la Clasificación de Suelos FAO/UNESCO (1970) modificada por DETENAL (DETENAL, 1979, Silva 1978) para su uso en la carta edafológica, un suelo

XEROSOL háptico (del Griego Xeros; seco, Haplos; simple) corresponde a suelos que se localizan en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte de México, teniendo como vegetación natural matorrales y pastizales. Se caracterizan por tener una capa superficial de color claro y muy pobres en humus, con un subsuelo rico en arcillas o semejante a la capa superficial. Muchas veces presentan a cierta profundidad manchas, polvo o aglomeraciones de cal, cristales de yeso o caliche, de mayor o menor dureza; a veces son salinos. Su utilización agrícola está restringida a zonas de riego, existiendo Xerosoles que pueden cultivarse en temporal, pero son inseguros y de bajos rendimientos. La agricultura de riego con cultivos de algodón y granos así como vid, es de altos rendimientos, debido a la alta fertilidad de estos suelos. Son también importantes en su uso pecuario.

En la Región Lagunera se reconocen once series de suelo (Ramírez, 1976), que derivan su nombre de la localidad donde primero se encontraron; las series de mayor importancia son: Coyote, San Ignacio, San Pedro, Concordia y la serie Santiago. La serie Coyote es la de mayor importancia en la Región, tanto por la superficie que cubre (98,218 ha) como por sus características físico-químicas. Por lo que respecta a su condición física, son suelos profundos, permeables, con buen drenaje natural, alta capacidad de retención de humedad y con poca tendencia al agrietamiento; en cuanto a la fertilidad, son de condición media, pobres en materia orgánica y nitrógeno.

3.5. Hidrología

Las principales fuentes hidrológicas en la Región Lagunera son los ríos Nazas y Aguanaval, contando con dos presas de almacenamiento: Lázaro Cárdenas, conocida como El Palmito, con una capacidad útil de 2,732.9 millones de metros cúbicos, y la presa Francisco Zarco, más conocida como Las Tórtolas, con una capacidad útil de 358 millones de metros cúbicos, y un escurrimiento medio anual de 892.367,000 m³, un embalse máximo de 11,111 ha y una capacidad de vertedor de 6,000 m³/seg (SARH, 1992).

La Región Lagunera se encuentra dentro de la Región Hidrológica 36 y parte de la 35, y comprende las cuencas cerradas de los grandes ríos Nazas y Aguanaval, más una zona sin salida situada al norte del Nazas que rodea la ciudad de Mapimí, Dgo.

Por orden de importancia, las tres fuentes de abastecimiento de agua de La Región Lagunera son las siguientes:

El río Nazas, cuya cuenca tiene una superficie de 59,632 km², con una longitud de 220 km y con un escurrimiento medio anual de 1,113 millones de metros cúbicos.

El acuífero subterráneo, el cual representa una fuente importante para los cultivos que se establecen en el invierno y parte de la primavera-verano. La Región Lagunera cuenta (hasta 1990) con 2,771 pozos en operación, pertenecientes la mayoría a particulares.

El río Aguanaval, cuya cuenca tiene una superficie de 25,532 km² y una longitud de 305 km; su escurrimiento medio anual es de 160 millones de metros cúbicos.

3.6. Desarrollo del trabajo

El procedimiento aplicado en el estudio comprendió el establecimiento de dos experimentos para dar respuesta a los objetivos planteados.

3.6.1 Primer experimento

El primer experimento se estableció en los terrenos del CENID-RASPA. INIFAP-SAGAR durante los ciclos agrícolas OI 1994-95 y PV-1995. Estudiándose el efecto de los implementos de labranza sobre el efecto de las propiedades físico-mecánicas del suelo, sin cultivo.

3.6.1.1. Caracterización del área de estudio

Se utilizó el lote ubicado en la parte norte del Campo Experimental, al lado derecho del canal principal y al norte de la nogalera, utilizándose una superficie de 10,080 m² donde se delimitaron las unidades experimentales y se hizo el levantamiento planimétrico y altimétrico, con la finalidad de ubicar los tratamientos bajo un sistema de coordenadas, localizar los puntos de muestro, caracterizar el terreno, determinar las formas y sentidos de labranza y de diseñar el sistema de riego.

Se hizo un pozo agrológico y su correspondiente descripción del perfil, determinándose además los requerimientos de muestreo según las características observadas y los parámetros a estudiar (Cuadro 4).

3.6.1.2. Diseño Experimental

La distribución de los tratamientos en campo fue en unidades experimentales de 20*10 m con espaciamiento de 2 m entre ellas y 5 m entre repeticiones (Figura 2).

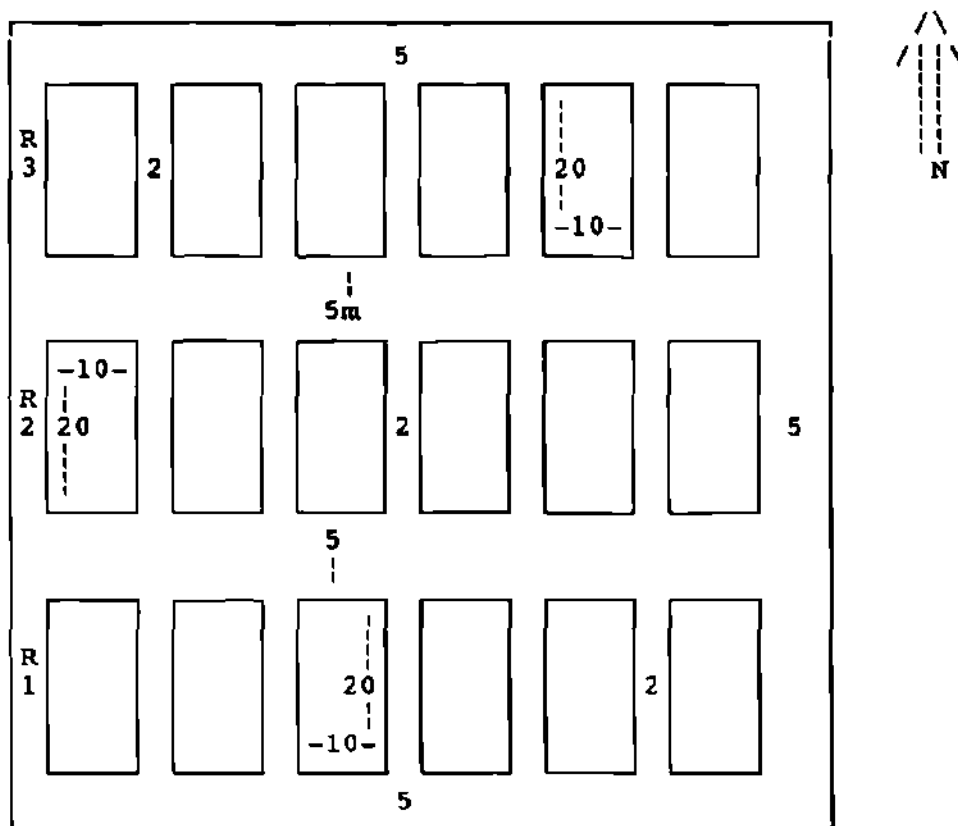


Figura 2. Croquis del área experimental de los ciclos OI 1994-95 y PV-1995

El análisis de varianza se sujetó al modelo de bloques al azar con seis tratamientos (arados de cinceles, discos, subsolador y vertedera, rastra de discos y unidad sin labranza) y tres repeticiones, con submuestras en las unidades experimentales, mismo que se analizó con los paquetes estadísticos de Olivares (1994) y Statistical Analysis System (SAS).

3.6.1.3. Variables descriptivas:

3.6.1.3.1. Suelo

Textura, pH, CE, cationes y aniones solubles (Ca^{++} Mg^{++} Na^+ K^+ HCO_3^- SO_4^- Cl^-), cationes intercambiables (Ca^{++} Mg^{++} Na^+) por ciento de humedad (Hu) a saturación, PMP y CC, porcentaje de sodio intercambiable (PSI) capacidad de intercambio cationico (CIC). En el Cuadro 4 se presentan las características físico-químicas del suelo determinadas antes establecer el experimento.

Cuadro 4. Características físico-químicas del suelo en el área experimental.

Prof. (cm)	Textura	Da (g/cm ³)	CC	PMP	pH	MO %	CE (mmhos/cm)	PSI %
0-30	Migajón arcilloso	1.32	30.6	15.9	8.1	1.2	1.12	1.6
30-60	Migajón arcilloso	1.22	30.1	14.7	7.9	0.62	0.85	1.9
60-90	Migajón arcilloso	1.22	29.0	14.4	7.7	0.44	1.30	1.9
90-120	Franco	1.20	29.0	14.4	7.7	0.44	1.30	1.9
120-150	Franco	1.20	29.0	14.4	7.7	0.44	1.30	1.9

3.6.1.3.2. Implemento

Penetración, número de cuerpos, frente de trabajo, área de trabajo, ángulo de trabajo, estudio de su trabajo sobre el suelo y efecto de la herramienta en el fondo de trabajo.

3.6.1.3.3. Tractor

Combustible (kW), patinaje (%) y velocidad (m/s).

3.6.1.4. Variables de estudio

3.6.4.1. Suelo

Densidad aparente (Da), porosidad (P), aeración (Ae), compactación índice de cono (IC), esfuerzo al corte (Ec), módulo de ruptura (Mr), módulo de contracción (Mc), resistencia al impacto (Ri), torvane (Ve), contenido de humedad (Hu), distribución de humedad (DHu), retención de humedad (RHu), conductividad hidráulica (K_s), sortividad (S), potencial de flujo mátrico (Ψ), agregados: distribución (Dag), estabilidad (en seco (Eas) y en húmedo (Eah)). Consistencia: límite líquido (Ll), límite plástico (Lp), punto de pegajosidad (Pp), índice de plasticidad (Ip), índice de flujo (If) y temperatura (T).

3.6.1.4.2. Implementos.

Se prepararon los implementos a utilizar (arados de cinceles, discos, subsoledor y

vertedera, y la rastra de discos) y según lo programado se les determinó: número de cuerpos, frente de trabajo, área de trabajo, ángulo de trabajo, y se realizaron las determinaciones de: penetración, estudio de su trabajo sobre el suelo y el efecto de la herramienta en el fondo de trabajo al momento del establecimiento de los tratamientos.

3.6.1.4.3. Tractor.

Se utilizó un tractor de 80 HP al cual se le dio mantenimiento para asegurar un buen funcionamiento y se registraron sus características, peso, trocha, rodado y condiciones mecánicas, utilizándose un medidor de flujo diseñado por Martínez y Pissani (1996), para registrar el consumo de combustible utilizado únicamente cuando se está preparando el suelo, sin considerar tiempos muertos.

3.6.1.5. Determinaciones.

Al momento del establecimiento de los tratamientos, se determinó en cada uno de ellos el consumo de combustible del tractor (E), patinaje de las llantas (Pat), velocidad, teórica y velocidad real (Vr) de trabajo, y para la acción conjunta de la relación implemento-suelo se determinó el ancho de corte (A), profundidad promedio de trabajo (Ppl), altura y ancho de cresta (C y Ac), índice de cono (IC) y resistencia al corte en el fondo de trabajo (Rc), realizándose un análisis de las paredes y del piso de trabajo para determinar forma y profundidad de resquebrajamiento en el suelo por cada herramienta, calculándose la intensidad de labranza (II) en cada unidad experimental en función del volumen de suelo alterado por cada implemento.

En cada ciclo las variables bajo estudio que se determinaron a cuatro niveles de profundidad cada 15 cm fueron: humedad (captación, y distribución), determinándose por gravimetría; temperatura, por medio de geotermómetros con vástagos de hasta un metro; densidad aparente, con barrena de núcleo; porosidad y aeración por diferencias; índice de cono con penetrómetro tipo agrícola. Las determinaciones hasta los 30 cm a dos niveles de profundidad fueron: límite líquido, con la cazuela de Casagrande; límite plástico, por el plato de vidrio; punto de pegajosidad, por la espátula; índice de plasticidad, por diferencia; índice de flujo, por cálculo de la pendiente; distribución de agregados, por torre de cribas; estabilidad de agregados en seco por medio del DEAS (Martínez y Pissani 1994) y estabilidad de agregados en húmedo, por el método de Yoder con el DEAS; reestructuración, agregación del suelo; retención de humedad, por membrana y olla de presión. Las determinaciones realizadas únicamente a un

nivel de profundidad (00-15 cm) fueron: conductividad hidráulica, potencial de flujo mátrico y sortividad, por medio del permeámetro tipo Guelph; esfuerzo al corte, con marco de corte torcional; torvane para superficie a 1.5 cm; resistencia al impacto, por caída libre; módulo de contracción, por marco de volumen conocido; módulo de ruptura, con aparato para ruptura de bloques.

3.6.1.6 Riegos.

En el ciclo OI 1994-95, únicamente se dió un riego a volumen controlado durante el primer mes y en el ciclo PV-1995 se dieron dos riegos con agua de la presa en el primer y tercer mes.

3.6.2. Segundo experimento.

El segundo experimento se estableció en el área norte de los terrenos del Instituto Tecnológico Agropecuario de la Laguna durante el ciclo OI 1995-96. Estudiándose la acción de los implementos de labranza primaria solos y con su interacción con la rastra de discos a tres diferentes niveles y como parámetro censor el cultivo de avena forrajera variedad Cuauhtémoc. Siendo el objetivo proponer y evaluar sistemas de labranza, desde un punto de vista agronómico y de conservación ecológica que presenten alternativas diferentes al sistema de la región.

3.6.2.1. Diseño experimental.

La distribución de los tratamientos en campo fue en unidades experimentales de 15 x 10 m con espaciamiento de 2 m entre ellas y 5 m entre repeticiones (Figura 3), donde a la parcela grande correspondió a la acción de los implementos de labranza primaria, arados de discos (AD), subsoleador (AS) y de vertedera (AV), además la parcela con cero aradura (CA). A las parcelas chicas correspondieron los pasos de rastra con: cero pasos de rastra (0R), un paso de rastra (1R) y dos pasos de rastra (2R), por lo que las combinaciones fueron: arado de discos y cero pasos de rastra (AD0R), arado de discos y un paso de rastra (AD1R), arado de discos y dos pasos de rastra (AD2R), arado de vertedera y cero pasos de rastra (AV0R), arado de vertedera y un paso de rastra (AV1R), arado de vertedera y dos pasos de rastra (AV2R), arado subsoleador y cero pasos de rastra (AS0R), arado subsoleador y un paso de rastra (AS1R), arado subsoleador y dos pasos de rastra (AS2R), cero pasos de arado y cero pasos de rastra (CA0R = labranza cero), cero

pasos de arado y un paso de rastra (CA1R), cero pasos de arado y dos pasos de rastra (CA2R).

3.6.2.2. Determinaciones.

Las determinaciones de las variables se realizaron en muestreos mensuales durante 110 días, considerando las siguientes variables:

3.6.2.2.1. Suelo.

Humedad (Hu) (captación y distribución), temperatura (T), densidad aparente (Da), porosidad (P), índice de cono (IC), módulo de ruptura (Mr), módulo de contracción (Mc), límite líquido (Ll), límite plástico (Lp), índice de plasticidad (Ip), punto de pegajosidad (Pp), índice de flujo (If).

3.6.2.2.2. Planta.

Altura, diámetro, ancho de hoja, longitud de hoja, número de hijuelos, rendimiento de forraje en húmedo, rendimiento de forraje en seco.

3.6.2.3. Riegos.

Los riegos se aplicaron cada 25 días hasta el momento del primer corte, a partir del cual se retrasó el próximo riego por espacio de 15 días más.

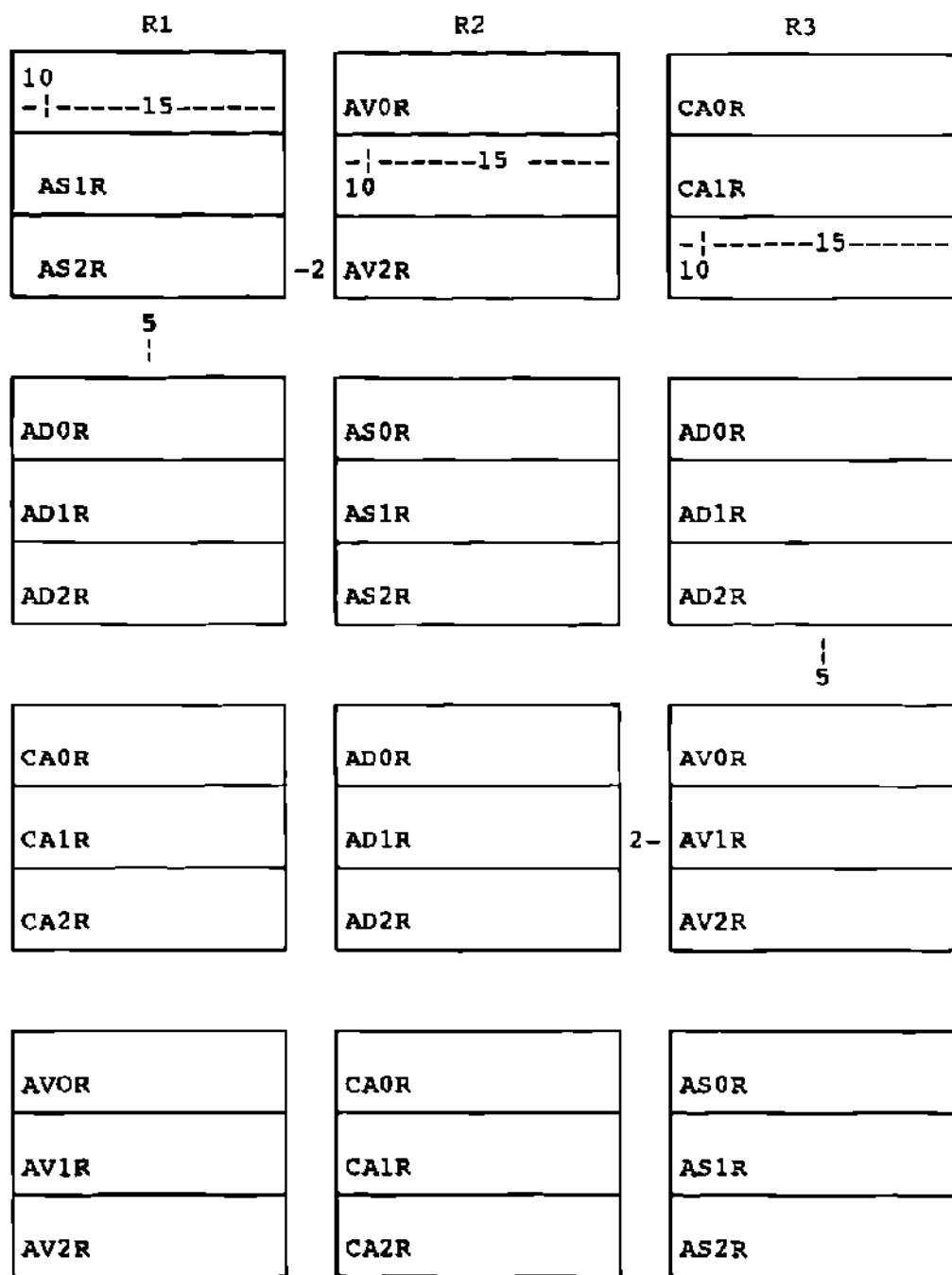


Figura 3. Croquis del área experimental del ciclo OI 1995-96 con avena forrajera.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Primer experimento

En los resultados de las determinaciones realizadas al momento de establecer los tratamientos, en los ciclos OI 1994-95 y PV 1995 cuyo concentrado se muestra en el Cuadro 5, se puede apreciar cómo los implementos de roturación (arado subsoleador y arado de cinceles) registraron porcentajes altos de patinaje, sobresaliendo el arado subsoleador que al efectuar el trabajo a mayor profundidad que los demás implementos originó una disminución de la velocidad real de desplazamiento, propiciando una intensidad de labranza intermedia debido al ancho de corte, lo cual no ocurrió con el arado de cinceles, que presentó el ancho de corte más grande a una profundidad de trabajo mucho menor, lo que generó una baja intensidad de labranza y un bajo consumo energético.

Cuadro 5. Variables determinadas al establecer los tratamientos.

Tratamientos	Pat %	Vr m/s	A m	Ppl cm	II %	C cm	Ac cm	E kW	E %
A Cinceles	19	1.42	2.05	17	38.8	10	10	18.6	10.7
A Discos	20	1.33	0.87	30	93.3	17	20	49.2	28.3
Rastra	8.2	1.42	1.94	17	56.6	8	12	17.6	10.1
A Subsuelo	26	1.0	1.10	45	63.4	12	30	34.7	19.5
L Cero	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A Vertedera	17	1.11	1.04	30	96.7	14	15	53.9	30.9

Los implementos que propiciaron el corte e inversión del terreno (arados de discos y vertedera) originaron las más altas intensidades de labranza, con porcentajes de patinaje que se vieron influenciados por la profundidad promedio de labranza (ya que trabajaron a la profundidad de 30 cm, considerada como estándar en la región), y por el ancho de corte y la velocidad de trabajo, permitiendo al arado de discos una mayor velocidad de desplazamiento con menor consumo energético al requerir menor esfuerzo por la tendencia al giro de sus discos, los cuales formaron una serie de pequeñas crestas en el fondo de trabajo, lo que no sucedió con el arado de vertedera, ya que dejó un corte más limpio, pero más endurecido por el aplanado

de la herramienta de corte al deslizarse. Los tratamientos de la rastra de discos originaron el menor porcentaje de patinaje al requerir menos esfuerzo para su desplazamiento, debido al giro de los discos y a la profundidad de labranza, que repercutió en una intensidad de labranza relativamente alta y un fondo de trabajo que presentó resquebrajamiento (pequeñas fracturas).

Con los resultados de las variables determinadas al inicio del establecimiento se corrieron las regresiones que permitieran encontrar la relación funcional que relacionara el consumo energético con todas y cada una de ellas, encontrándose que entre la intensidad de labranza y la energía utilizada (kW/ha) para cada tratamiento existió una relación significativa, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.935$, por lo que se propone la Ecuación (2) para la estimación del consumo o requerimiento energético (RE).

$$RE = - 3.123 + 0.5512 * I \quad (2)$$

Donde:

RE = Requerimiento energético en kW/ha

I = Intensidad de labranza en %

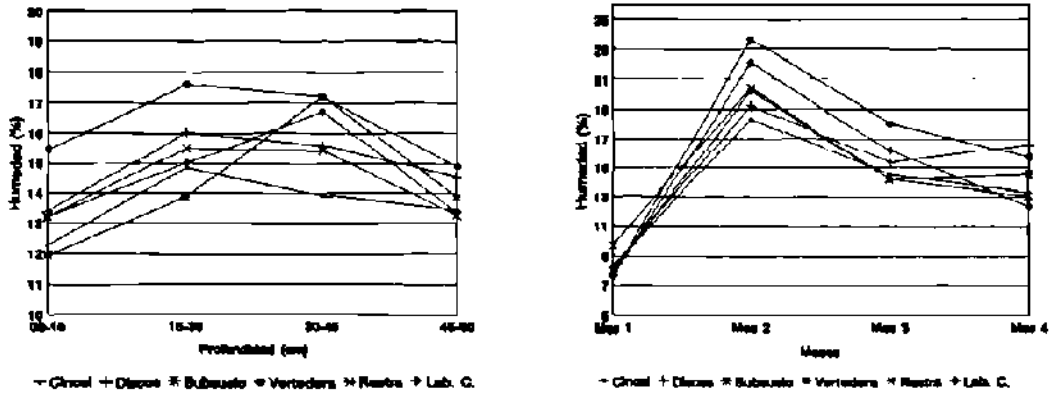
4.1.1. Humedad (Hu)

Los resultados de los porcentajes de humedad registrados durante el ciclo OI 1994-95 presentaron diferencia altamente significativa únicamente para muestreos en el tiempo y entre profundidades (Cuadro A1), lo cual concuerda con lo reportado por Bauder *et al.* (1985), quienes indican que no encontraron diferencia significativa de humedad entre los tratamientos de labranza. El comportamiento de la humedad en función de los muestreos en el tiempo presentaron el porcentaje más alto de humedad en el segundo mes (Figura 4a), el cual correspondió al muestreo efectuado después del riego y a partir de ahí, la humedad registró un claro descenso cada mes originado por la evaporación.

Las profundidades 15-30 cm y 30-45 cm (Figura 4b; Cuadro 6) mantuvieron estadísticamente los promedios de humedad más altos en el ciclo, correspondiendo a la profundidad 00-15 cm los menores porcentajes en el primero y el cuarto mes y a la profundidad 45-60 cm el segundo y tercer mes.

En el ciclo PV-1995 se observó diferencia significativa para el comportamiento de la humedad por implemento (Cuadro A2), destacando los tratamientos de los arados de vertedera y discos, con porcentajes significativamente más altos como se aprecia en el Cuadro 7, presentándose diferencia altamente significativa al probar las medias por contrastes ortogonales

entre los grupos de implementos de labranza de cobertura y los de roturación, por lo que en general para ambos ciclos los implementos de cobertura mantuvieron los mejores niveles de humedad al propiciar en su acción de corte e inversión o mezcla de la capa de suelo mejores condiciones para la captación y la conservación de la humedad, tanto en función del tiempo como de la profundidad (Cuadro 6; Figuras 4 y 5), lo cual no concuerda con lo expuesto por Bustillos (1987), quien indica que bajo el sistema de labranza cero los suelos por él estudiados (Xerosol y Cambisol) presentaron la mayor retención de humedad.



(a) En cada profundidad

(b) Durante el ciclo

Figura 4. Comportamiento de la humedad por implemento en el ciclo OI 1994-95.

Cuadro 6. Comparación de medias de la humedad (Hu %) muestreos por profundidad. Ciclo OI 1994-95.

Prof. (cm)	M e s e s			
	1	2	3	4
00-15	6.26	20.34	14.20	12.19
15-30	8.93	20.81	16.52	15.57
30-45	9.30	21.70	17.29	15.70
45-60	8.49	19.74	13.74	13.53

DMS prof en meses = 1.5732

DMS meses en prof = 1.6670

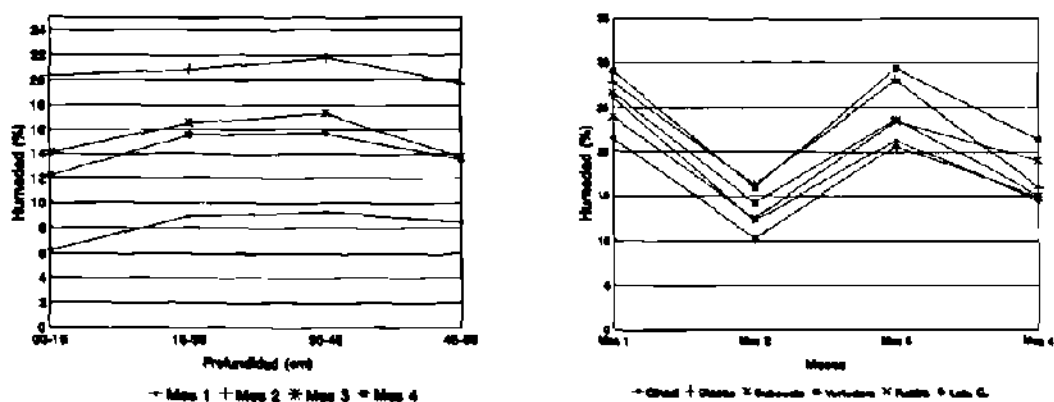
Los datos del comportamiento de la humedad en el perfil del suelo en el ciclo PV-1995 (Figura 5a) presentaron diferencias altamente significativas (Cuadro A2), donde las profundidades 15-30 cm (Hu=22.14 %) y la 30-45 cm (Hu=21.86 %) fueron estadísticamente iguales entre ellas y mayores a las de los demás tratamientos, ya que la profundidad 00-15 cm tuvo significativamente el menor porcentaje de humedad (Hu=17.32 %).

Cuadro 7. Comparación de medias de la humedad (Hu %).

Ciclo OI 1994-95		Ciclo PV-1995	
Tratamiento	Hu	Tratamiento	Hu
A Vertedera	16.27	A Vertedera	23.96
A Discos	14.87	A Discos	22.00
L Cero	14.52	A Subsuelo	19.86
Rastra	14.33	Rastra	19.60
A Subsuelo	14.21	A Cinceles	18.48
A Cinceles	13.60	L Cero	16.76

DMS = 3.5855

Se observó diferencia altamente significativas (Cuadro A2) en el comportamiento de la humedad en la interacción de los niveles de profundidad con el tiempo, presentando los porcentajes más altos en las profundidades 15-30 cm y 30-45 cm, sobresaliendo estadísticamente el primero y tercer mes, correspondientes a los meses en que se regó y al mes de regado; las profundidades 15-30, 30-45 y 45-60 cm estadísticamente fueron iguales entre ellas y diferentes a la profundidad 00-15 cm.



a) Por profundidad en el mes

b) Por implemento en el ciclo

Figura 5. Comportamiento de la humedad en el ciclo PV-1995.

En cuanto a los tratamientos de los implementos de roturación se mantuvieron en niveles más bajos, y el tratamiento de labranza cero, aunque con buena captación inicial, tuvo pérdidas muy fuertes de humedad después de un mes para el ciclo OI 1994-95 (Figura 4b) y en el ciclo de PV-1995 al mes (considerando las altas temperaturas), ya tenía el porcentaje de humedad más bajo de los tratamientos (Figura 5b), lo cual se atribuye a las altas temperaturas registradas en

la Región y a la falta de protección del suelo en las unidades experimentales, lo que indica que la captación de humedad estuvo directamente relacionados con la intensidad de labranza, difiriendo de lo expresado por Benjamín (1993), quien encontró que el contenido volumétrico de agua indica mayor movimiento de agua a través de los poros en labranza cero que en los sistemas de labranza con arado de cinceles y en los del arado de vertedera.

4.1.1.1. Retención de humedad (Rhu).

Se analizaron los datos de los contenidos de humedad a 0.3, 1, 5, 10 y 15 Bar en las profundidades 00-15 y 15-30 cm, presentando en ambos ciclos, como era de esperarse, diferencia altamente significativa entre los contenidos de humedad en cada una de las diferentes tensiones y en la interacción tensión-profundidad (Cuadro A3). No se encontró diferencia significativa entre tratamientos en ninguno de los ciclos. En el análisis de la interacción entre tensiones y profundidad, la profundidad 00-15 cm presenta estadísticamente mayor retención de humedad que la profundidad 15-30 (Cuadro 8), lo cual corrobora el análisis de contrastes ortogonales al agrupar por profundidades donde la diferencia es altamente significativa y además la capacidad de retención de humedad es mayor a tensiones bajas (0.3 y 1 Bar) en la profundidad 00-15 cm en contraste con la profundidad 15-30 cm para todos los tratamientos. Francis and Knight (1993) reportan que la capacidad de campo y el contenido de agua disponible (CC-PMP) fue mayor en labranza cero a la prof. 0-7.5 cm.

Cuadro 8. Comparación de medias para la retención de humedad (%) en cada tensión por profundidad (cm) en los ciclos OI 1994-95 y PV-1995.

Tensión (Bar)	Ciclo OI 1994-95		Ciclo PV-1995	
	00 - 15	15 - 30	00 - 15	15 - 30
0.3	31.52	30.46	32.41	30.08
1.0	26.38	20.68	25.14	22.41
10	16.32	12.37	14.06	17.18
15	13.17	11.59	13.27	13.03

DMS Prof en Trat = 0.5939 DMS Prof en Trat = 1.1807 DMS Trat en Prof = 0.5454 DMS Trat en Prof = 0.9146

4.1.2. Densidad aparente (Da)

La densidad aparente presentó diferencias altamente significativas para los muestreos en

ambos ciclos (Cuadros A1 y A2) en el ciclo OI 1994-95, el segundo y tercer mes (correspondientes al mes de riego y al siguiente) se registraron estadísticamente las densidades promedio del ciclo más altas (Cuadro 9), y el cuarto mes la más baja sin diferencia significativa con la densidad registrada en el primer mes.

Cuadro 9. Comparación de medias para la densidad aparente (D_a) durante cada ciclo.

Mes	Ciclo OI 1994-95 D_a (gr/cm ³)	Ciclo PV-1995 D_a (gr/cm ³)
1	1.1928	1.2760
2	1.2244	1.2594
3	1.2417	1.3000
4	1.1713	1.2487

DMS = 0.004173 DMS = 0.02477

En el ciclo PV-1995 las densidades más altas nuevamente se registraron inmediatamente después de los riegos correspondientes al primero y al tercer mes, y el cuarto mes estadísticamente presentó la más baja densidad como puede verse en el Cuadro 9.

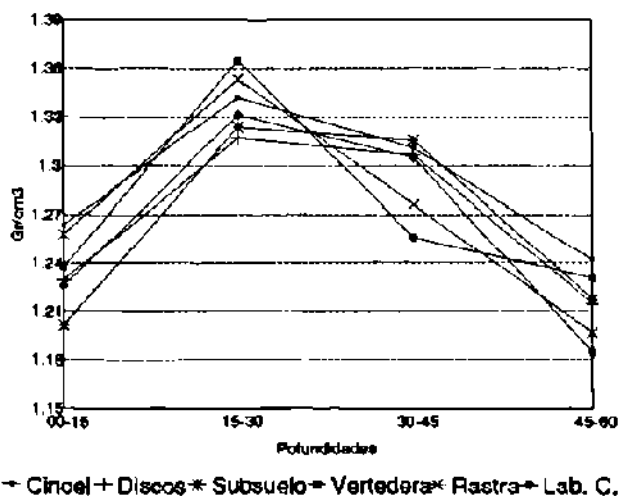


Figura 6. Comportamiento promedio de la densidad aparente por implemento en el perfil del suelo, ciclo PV-1995.

El comportamiento general de la densidad por profundidad para el ciclo PV-1995 presentó diferencia altamente significativa (Cuadro A2), registrándose la densidad aparente promedio más alta en la profundidad 15-30 cm con 1.338 gr/cm³ seguida de la 30-45 cm con

1.295 gr/cm³, y las más bajas en los 00-15 cm y 45-60 cm (Figura 6), las cuales corresponden también a los niveles con los mayores porcentajes de humedad y de índice de cono.

En los dos ciclos agrícolas por lo general los tratamientos alcanzaron sus niveles más altos en la profundidad hasta la cual trabajaron los implementos, para posteriormente tender a disminuirla.

4.1.3. Índice de cono (IC).

En lo que respecta al índice de cono (IC), los tratamientos presentaron diferencia estadística en ambos ciclos (Cuadros A1 y A2) con comportamiento similar. Los tratamientos con mayor intensidad de labranza fueron comparados contra los de menor intensidad por medio de un contraste, encontrando una diferencia altamente significativa entre los grupos, en donde los tratamientos de los arados de discos, vertedera y subsoleador registraron menor resistencia a la penetración (Cuadro 10) siendo diferentes estadísticamente; de igual manera, en ambos ciclos los tratamientos de los arados de discos y vertedera presentaron valores menores que los arados de cinceles y subsoleador, contrastando con diferencia altamente significativa al comparar los implementos de cobertura (arados de discos y vertedera) contra los de roturación (arados de cinceles y subsoleador).

Cuadro 10. Comparación de medias de los tratamientos para el índice de cono en cada ciclo.

Ciclo OI 1994-95		Ciclo PV-1995	
Tratamiento	IC (kPa)	Tratamiento	IC (kPa)
A Cinceles	1567.85	A Cinceles	1631.57
L Cero	1419.32	Rastra	1578.21
Rastra	1381.21	L Cero	1497.20
A Subsoleador	1215.55	A Subsoleador	1287.41
A Vertedera	1127.91	A Discos	1261.17
A Discos	1008.12	A Vertedera	1237.34

DMS = 342.53 DMS = 226.53

En la Figura 7a se muestra la interacción de los tratamientos con la profundidad, los cuales también resultaron con diferencia altamente significativa (Cuadro A1) pudiéndose observar en el ciclo OI 1994-95 cómo los tratamientos en la profundidad 00-15 cm no presentan diferencia

entre ellos, y en la segunda profundidad la mayor resistencia la presentaron los tratamientos de la labranza cero y del arado de cinceles con índice de cono de 1,488.52 kPa y 1,294.3 kPa respectivamente y según el análisis estadístico la menor resistencia correspondió a los arados de vertedera y de discos con índice de cono de 888.99 kPa y 693.95 kPa. En las profundidades 30-45 cm y 45-60 cm el comportamiento fue muy similar al sobresalir estadísticamente los tratamientos del arado de cinceles con valores más altos de índice de cono y nuevamente los arados de discos y vertedera con los más bajos.

En el ciclo PV-1995 el índice de cono presentó diferencia altamente significativa en todos los factores y sus respectivas interacciones (Cuadro A2). En el Cuadro 11 se muestran los resultados del análisis de medias para la interacción de segundo orden y en el primer mes los datos de la profundidad 00-15 cm registraron poca variación entre tratamientos, presentando los valores de índice de cono significativamente más altos los tratamientos de: arados de vertedera, cinceles y discos, labranza cero y de rastra, en la profundidad 15-30 cm; los valores más altos los presentaron los tratamientos de rastra, arado de cinceles, labranza cero y arado subsoleador en las profundidades 30-45 y 45-60 cm donde sobresalió el tratamiento de rastra con el valor estadísticamente más alto ya que los demás tratamientos no tuvieron diferencia significativa, en este primer mes, como puede verse en la Figura 7b, sobresalieron con los valores más altos después de su profundidad de trabajo los tratamientos de rastra y arado de cinceles, y con los valores más bajos después de los 15 cm de profundidad los tratamientos de arado de discos y vertedera; los tratamientos de labranza cero y arado subsoleador mantuvieron valores intermedios.

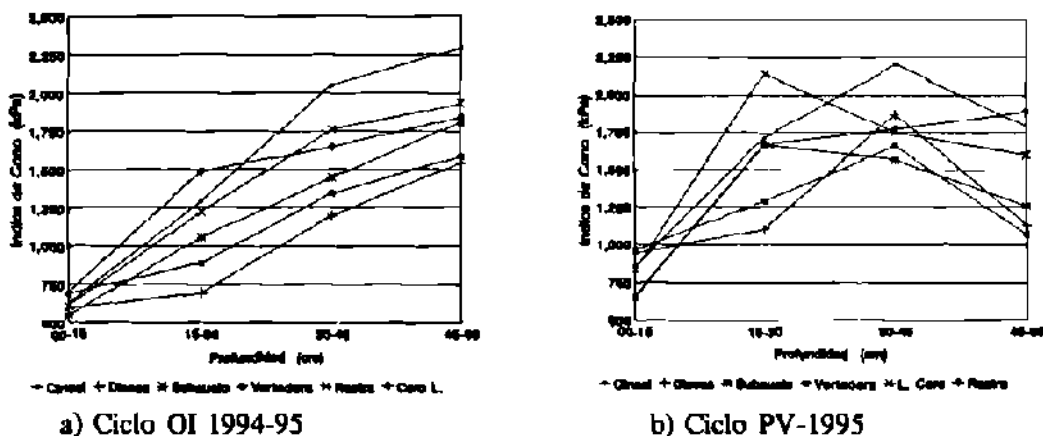


Figura 7. Comportamiento del índice de cono en el perfil por implemento.

El segundo mes en la profundidad 00-15 cm presentaron los valores significativamente más altos los tratamientos de arados de discos, vertedera y cinceles (cuadro 11). En la

profundidad 15-30 cm registró el valor significativamente más alto de índice de cono el tratamiento de labranza cero y el más bajo los de arado de discos, vertedera y rastra; en la profundidad 30-45 cm registraron los valores estadísticamente más altos los tratamientos de rastra, arado de cinceles y vertedera, el índice de cono significativamente más bajo lo presentó el tratamiento del arado subsolador en la profundidad 45-60 cm, destacó el tratamiento de rastra con valores significativamente superiores a los demás y los arados subsolador y de discos nuevamente con los valores más bajos los cuales se mantuvieron en el resto del perfil.

Cuadro 11. Medias para la interacción tratamiento-mes-profundidad del índice de cono (kPa) ciclo OI 1994-95.

T	M	00-15 (cm)	T	M	15-30 (cm)	T	M	30-45 (cm)	T	M	45-60 (cm)
AV	1	826.84	RD	1	804.03	RD	1	1159.68	RD	1	1334.99
AC	1	736.45	AC	1	736.30	AC	1	736.01	LC	1	825.97
AD	1	713.78	LC	1	620.81	LC	1	736.01	AC	1	80.344
LC	1	645.46	AS	1	508.91	AS	1	622.04	AS	1	645.76
RD	1	576.79	AV	1	348.08	AD	1	485.36	AD	1	600.19
AS	1	463.06	AD	1	324.89	AV	1	440.46	AV	1	554.19
AD	2	1491.29	LC	2	3555.96	RD	2	3461.75	RD	2	3501.90
AV	2	1381.44	RD	2	3206.62	AC	2	3306.87	AC	2	2879.33
AC	2	1206.21	AV	2	2314.46	AV	2	3136.15	LC	2	2119.57
LC	2	938.96	AD	2	1980.37	AD	2	2600.50	AV	2	1557.26
RD	2	849.30	AC	2	1900.39	LC	2	2393.58	AD	2	1247.96
AS	2	758.76	AS	2	1403.23	AS	2	1538.40	AS	2	1117.13
AV	3	713.26	AC	3	1115.37	LC	3	1093.79	RD	3	1005.88
AD	3	622.43	LC	3	983.94	RD	3	826.84	AC	3	871.82
LC	3	576.20	AS	3	913.62	AV	3	803.15	LC	3	713.19
RD	3	554.63	RD	3	803.15	AS	3	735.45	AV	3	666.45
AC	3	531.81	AV	3	690.01	AC	3	713.19	AD	3	531.52
AS	3	462.91	AD	3	530.85	AD	3	667.99	AS	3	508.62
LC	4	1162.10	AS	4	3834.67	AC	4	4040.53	AS	4	2770.58
AS	4	938.96	LC	4	3394.19	AD	4	3729.19	LC	4	2726.95
AD	4	938.38	AC	4	3099.84	AS	4	3555.96	AC	4	2489.16
AC	4	938.38	RD	4	1866.67	LC	4	2764.72	AD	4	2135.13
AV	4	938.09	AV	4	1815.12	AV	4	2121.76	RD	4	1712.57
RD	4	668.21	AD	4	1578.97	RD	4	1162.27	AV	4	1491.00

DMS Prof en Trat-Mes = 506.96

DMS Mes en Trat-Prof = 537.89

DMS Trat en Mes-Prof = 366.53

En general en el segundo mes destacaron nuevamente con valores altos los tratamientos de la rastra de discos y de arado de cinceles, aunque este último únicamente después de los 30 cm de profundidad, asimismo sobresalió el tratamiento de arado subsolador al registrar los

valores más bajos en todo el perfil seguido del arado de discos con valores un poco superior.

El tercer mes la profundidad 00-15 cm no registró variaciones entre tratamientos, y en la profundidad 15-30 cm los arados de discos y vertedera registraron los valores más bajos; la profundidad 30-45 cm los tratamientos de labranza cero, rastra y de arados de vertedera y subsoleador presentaron los valores más altos y los de arado de discos permanecieron con los más bajos al igual que en la profundidad 45-60 cm.

El cuarto mes, en la profundidad 00-15 cm hubo poca variación y en la 15-30 cm presentó significancia el tratamiento de arado de vertedera con el valor más alto y con los más bajos significativamente los tratamientos de arado de discos, vertedera y rastra; en la profundidad 30-45 cm registraron los valores más altos los tratamientos de arados de cinceles y discos y con el más bajo la rastra.

En la profundidad 45-60 cm presentaron el valor más alto estadísticamente los tratamientos de arado subsoleador y labranza cero, registrando el índice de cono significativamente más bajo el tratamiento de arado de vertedera. En este cuarto mes presentaron los índices de cono más altos los tratamientos de arado subsoleador, cinceles y labranza cero, y los más bajos el arado de vertedera y la rastra, asimismo son notorios los altos valores registrados por todos los tratamientos sobre todo en las capas intermedias.

Los resultados obtenidos indican que el índice de cono aumenta con el tiempo y la disminución de la humedad de manera diferente para la acción de cada implemento y de forma inversa a la intensidad de labranza, por lo que en general los arados de discos y vertedera dejan al suelo con menor resistencia a la penetración, seguidos por el arado subsoleador. Concordando con lo expuesto por Luttrell *et al.* (1977), y atribuyéndolo a que en su acción sobre el suelo estos implementos permiten alcanzar niveles más altos de porosidad.

4.1.4. Temperatura (T).

El comportamiento de la temperatura del suelo para el ciclo O1 1994-95 presentó diferencia altamente significativa para las interacciones de la profundidad con los muestreos en el tiempo (Cuadro A1). En función del tiempo estadísticamente las temperaturas más bajas de la profundidad 00-15 cm se registraron el primer mes y las más altas el tercero (Figura 8a) en la profundidad 15-30 cm; no se registraron cambios significativos en los promedios de las temperatura de cada mes en la profundidad 30-45 cm; estadísticamente los dos primeros meses se registraron los promedios más altos de temperatura, para la cuarta profundidad 45-60 cm registró una significativa disminución cada mes.

En el análisis de datos de la interacción entre los tratamientos por profundidad presentó diferencia altamente significativa (Cuadro A1) en el ciclo OI 1994-95, donde en la profundidad 00-15 cm, la temperatura estadísticamente más baja la registró el tratamiento del arado de discos con un promedio de 17.81 °C (Cuadro 12) y la más alta los de los arados de vertedera, cinceles y la labranza cero sin diferencia entre ellos (Cuadro 12); para la profundidad 15-30 cm los tratamientos de los arados de cinceles y subsoleador presentaron las temperaturas significativamente más altas y los del arado de vertedera y labranza cero las más bajas. En la profundidad 30-45 cm no hubo diferencia significativa de la temperatura por efecto de los implementos, y en la cuarta profundidad 45-60 cm la variación fue muy poca.

Los resultados de los contrastes ortogonales para los datos de esta interacción indican que entre los tratamientos de los implementos de labranza de roturación y los de cobertura (corte e inversión o mezcla del suelo) hay diferencia significativa, lo que se atribuye a la forma de realizar la labranza por cada grupo; asimismo, el análisis entre los tratamientos con labranza de roturación contra labranza cero y los de labranza de cobertura contra labranza cero resultaron con diferencia altamente significativa.

Cuadro 12. Comparación de medias de la temperatura (°C) en la interacción tratamiento-profundidad en el ciclo OI 1994-95.

Tratamiento	Profundidad (cm)			
	00 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60
A Cinceles	19.66	16.37	14.58	15.5
A Discos	17.81	14.85	14.91	15.45
A Subsoleador	19.29	15.58	14.7	16.5
A Vertedera	20.7	14.66	14.64	15.2
Rastra	19.12	16.08	15.12	15.95
Labranza Cero	19.79	14.41	14.79	14.87

DMS para Prof en Trat = 1.3760

DMS para Trat en Prof = 1.3444

El comportamiento de la temperatura en el ciclo PV-1995 presentó diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro A2), resultando los de los arados de discos y vertedera con temperaturas estadísticamente más bajas (Figura 8b), y el análisis de contrastes ortogonales indicó que los resultados de los tratamientos de los implementos de cobertura difieren significativamente con los de roturación así como que los tratamientos de labranza cero difirieron con los de roturación al igual que los de labranza cero con los de cobertura, al registrar mayor temperatura promedio el tratamiento de labranza cero, a lo que Campos (1996) reporta

temperatura más altas en la labranza cero que en la tradicional y Thomas (1986) encontró que la temperatura del suelo fue más estable en los sistemas de labranza reducida que en la tradicional debido a los mayores contenidos de agua en la labranza reducida, lo que origina que los suelos se calienten más lentamente.

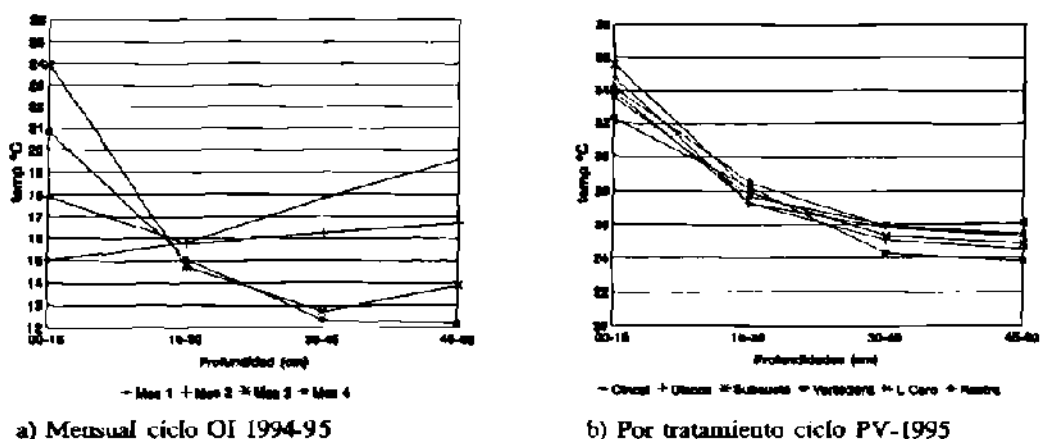


Figura 8. Comportamiento de la temperatura por profundidad en el suelo.

En el ciclo PV-1995 la interacción de las profundidades con los muestreos en el tiempo presentaron diferencia altamente significativa (Cuadro A2); en la profundidad 00-15 cm, en el segundo mes se registraron las temperaturas más altas y las más bajas en el primero y cuarto mes; en la segunda profundidad 15-30 cm las temperaturas más altas fueron en el segundo y cuarto mes, y la más baja el primer mes. En la tercera y cuarta profundidad (35-45 y 45-60 cm), con un comportamiento similar difirieron estadísticamente todos los meses al tener la temperatura más alta en el cuarto mes, la más baja el primer mes seguido del tercero. En general, la temperatura promedio del ciclo presentó un marcado descenso con la profundidad.

4.1.5. Porosidad (P).

Los resultados del análisis de varianza para la porosidad en el ciclo OI 1994-95 indican que hay diferencia altamente significativa entre las profundidades (Cuadro A4), al registrarse los volúmenes estadísticamente más altos de poros en las profundidades 45-60 cm y 00-15 cm sin diferencia significativa entre ellas como puede verse en Cuadro 13, no se registraron cambios por efecto de los implementos.

Aunque con comportamiento semejante, en el ciclo PV-1995 si se presentó diferencia altamente significativa entre los muestreos (Cuadro A4), originado por los cambios en la

humedad, presentándose estadísticamente la porosidad más baja en los meses en que se regó (Figura 9) sin diferencia significativa entre ellos. En este ciclo la profundidad también presentó diferencia altamente significativa, registrándose estadísticamente la porosidad más alta en la profundidad 45-60 cm.

Cuadro 13. Comparación de medias para la porosidad (P) por profundidad en ambos ciclos.

Profundidad (cm)	Ciclo OI 1994-95 P(%)	Ciclo PV-1995 P(%)
00 - 15	54.987	53.115
15 - 30	53.805	49.485
30 - 45	53.076	51.129
45 - 60	55.798	54.182

DMS = 1.299163

DMS = 0.823534

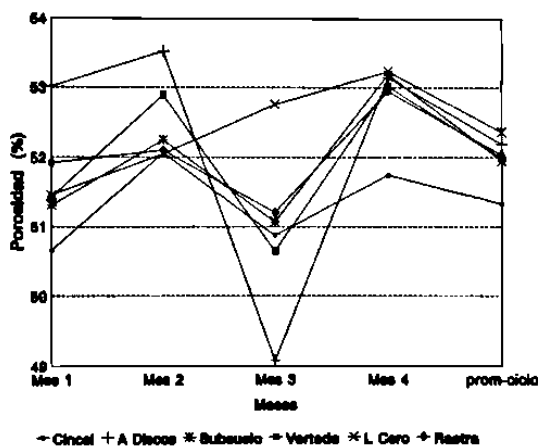


Figura 9. Comportamiento de la porosidad por implemento ciclo PV-1995.

4.1.6. Conductividad hidráulica (K_{gr}).

El análisis estadístico de los datos de K_{gr} del ciclo OI 1994-1995 (Cuadro A5), indican que ésta sí se vio afectada por el efecto de los implementos al presentar diferencia altamente significativa tanto entre los tratamientos como en función del tiempo. Como se puede ver en Cuadro 14, en el primer mes la K_{gr} estadísticamente más alta la registraron los tratamientos de rastra y arado subsoleador, presentando los demás tratamientos valores sin diferencia significativa entre ellos.

En el segundo mes, el tratamiento de arado de vertedera registró la K_{gr} más alta, seguido

con diferencia significativa por el arado de discos, la labranza cero y la rastra de discos, para quedar con los valores más bajos los arados de cinceles y subsoleador. El tercer mes la K_s estadísticamente más alta la registraron los arados de vertedera y discos; la más baja nuevamente los tratamientos de los arados de cinceles y subsoleador.

Cuadro 14. Comparación de medias de la conductividad hidráulica (cm/seg) en la interacción tratamiento-muestras en el ciclo OI 1994-95.

Tratamiento	Mes 1	Mes 2	Mes 3
A Cinceles	0.0023	0.0012	0.0008
A Discos	0.0012	0.0054	0.0027
A Subsoleador	0.0052	0.0004	0.0006
A Vertedera	0.0023	0.0076	0.0045
Rastra	0.0053	0.0037	0.0018
Labranza Cero	0.0019	0.0049	0.0011

DMS para Mes en Trat = 0.0020 DMS para Trat en Mes = 0.0018

En general, los tratamientos del arado de vertedera y de rastra fueron los que presentaron las mejores condiciones para conducir agua durante el ciclo (Figura 10a), a pesar de que únicamente al inicio del mismo la rastra registró valores altos y posteriormente permanecieron *en término medio*; por su parte, al inicio del ciclo el tratamiento de arado de vertedera registró los valores más bajos y sus más altos valores los registraron el segundo y tercer mes, lo cual coincide con las conclusiones de Gregorich *et al.* (1993), pero es contrario a lo encontrado por Benjamín (1993), quien indica que los sistemas de no-labranza tuvieron mayor conductividad que los de los arados de cinceles y de vertedera. Como puede observarse en el Cuadro 15, el *tratamiento de rastra de discos resultó estadísticamente igual al de arado de vertedera*, seguidos muy de cerca por el de arado de discos.

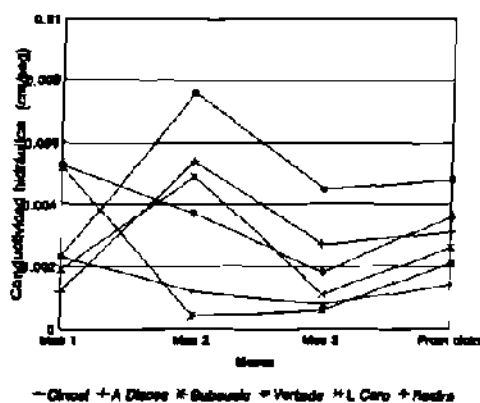
El análisis de contrastes ortogonales presentó diferencia altamente significativa al comparar los tratamientos de los implementos de cobertura contra los de roturación, lo que indica que los implementos de corte e inversión presentaron las mejores condiciones para la conducción del agua del suelo, sobre todo al mes del riego, y los implementos que únicamente roturan el terreno sin provocar la inversión tendieron a permanecer con valores por abajo de la media, con los promedios más bajos de los ciclos (Figura 10).

Cuadro 15. Comparación de medias de conductividad hidráulica (K_x) entre tratamientos ciclo OI 1994-95

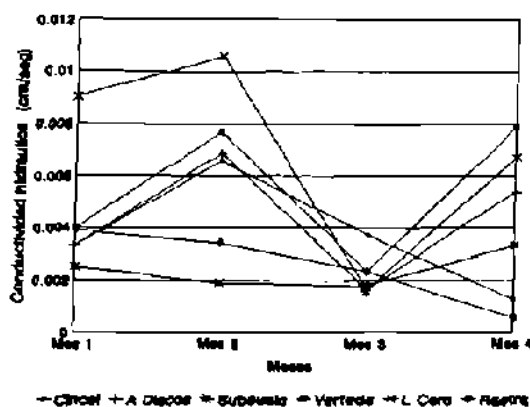
Tratamiento	K_x (cm/seg)
A Vertedera	0.004809
Rastra	0.003591
A Discos	0.003121
L Cero	0.002648
A Subsuelo	0.002063
A Cinceles	0.001440

DMS = 0.0013

La conductividad hidráulica del ciclo PV-1995 presentó diferencia altamente significativa para el factor tiempo y para la interacción de los tratamientos con el tiempo, observándose en la Figura 10b cómo en el primer mes (correspondiente el mes que se regó) el tratamiento de labranza cero registró la K_x significativamente más alta que los demás, y en el segundo mes nuevamente el de labranza cero registró los valores más altos, pero ahora estadísticamente igual al de arados de vertedera, discos y cinceles, presentando el de arado subsoleador la menor capacidad para conducir el agua al igual que el de rastra.



(a) Ciclo OI 1994-95



(b) Ciclo PV-1995

Figura 10. Comportamiento de la conductividad hidráulica.

El tercer mes en el cual se dio el segundo riego no se registró diferencia significativa entre los tratamientos, y en el cuarto mes destacaron estadísticamente los tratamientos de rastra, labranza cero y arado de discos con los valores más altos y los de arados de vertedera, cinceles y subsoleador cerraron el ciclo con la conductividad más baja.

4.1.7. Sortividad (S).

La sortividad presenta diferencias estadísticas, tanto entre tratamientos como en la interacción de la acción de los implementos sobre el suelo con el tiempo (Cuadro A6) para los datos del ciclo OI 1994-95. Como puede verse en el Cuadro 16, en el primer mes la capacidad de absorber agua por capilaridad sin influencia de la gravedad no registró variaciones por efecto de la acción de los implementos de labranza sobre el suelo, y en el segundo mes fueron los tratamientos de arados de vertedera y discos los que presentan estadísticamente la sortividad más alta y los de arado subsoleador, y la labranza cero la más baja. En el tercer mes nuevamente los tratamientos de arados de vertedera y discos alcanzan los valores más altos, y los de subsoleador y de cinceles registraron los más bajos sin diferencia estadística con la labranza cero y la rastra.

Cuadro 16. Comparación de medias entre tratamientos en función del tiempo para la sortividad ($\text{cm/seg}^{-1/2}$) ciclo OI 1994-95.

Tratamiento	Mes 1	Mes 2	Mes 3
A Cinceles	0.2512	0.8550	0.9759
A Discos	0.2119	2.5896	1.7751
A Subsoleador	0.4921	1.1024	0.8676
A Vertedera	0.2029	2.2710	2.3181
L Cero	0.7433	1.3060	1.1662
Rastra	0.3637	1.9229	1.4459

DMS M en T = 0.7443 DMS T en M = 0.0 0.2480

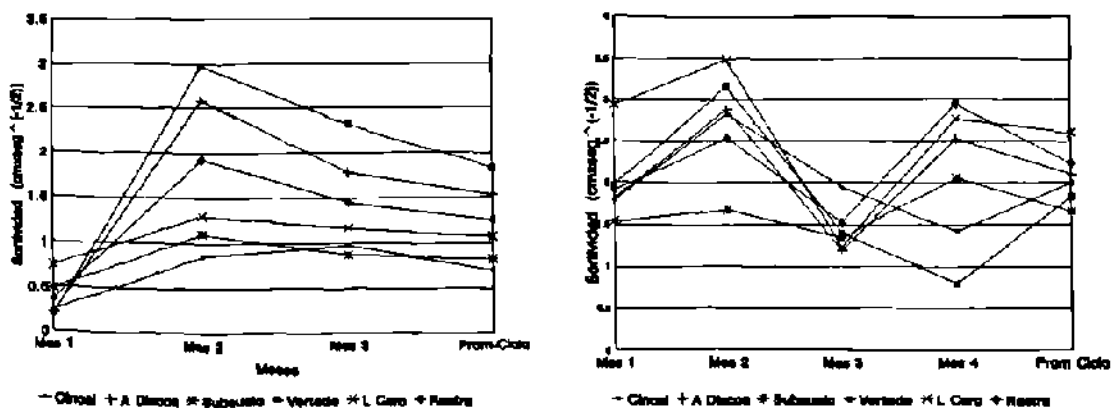
Estadísticamente, los tratamientos de los arados de vertedera y discos son los que mejoran en mayor grado la capacidad del suelo para absorber agua por capilaridad sin influencia de la gravedad (Figura 11), propiciado por los valores bajos de densidad aparente y menor resistencia a la penetración; por el contrario los implementos de roturación propiciaron una disminución en la capacidad del suelo para absorber agua, lo cual es confirmado por el análisis de contrastes ortogonales cuyos resultados presentaron diferencia altamente significativa entre los implementos de cobertura y los de roturación.

Los resultados aquí obtenidos concuerdan con los de Walker and Chong (1986), quienes concluyen que la sortividad depende tanto de la estructura del suelo como de los antecedentes del contenido de agua, y que tanto la sortividad como el radio de vacíos son afectados por los diferentes grados de compactación. El análisis de los datos por contrastes agrupando los resultados de los tratamientos por roturación contra la labranza cero presentó diferencia significativa, y los

de cobertura contra la labranza cero altamente significativa, lo que indica que los tratamientos de roturación originaron una disminución de la sortividad y por el contrario los de cobertura mejoraron las condiciones del suelo para absorber agua.

En el ciclo PV-1995 el comportamiento de la sortividad fue muy similar al del ciclo OI 1994-95, pero en este caso los resultados del análisis de varianza presentaron diferencias altamente significativas únicamente para el comportamiento de la sortividad en función del tiempo y para la interacción entre los tratamientos en función del tiempo como se puede apreciar en el Cuadro A6. Para el comportamiento en el tiempo (Figura 11b), los valores más bajos correspondieron a los meses en que se aplicó el riego, y los más altos a un mes después, semejante al comportamiento del ciclo OI 1994-95.

El primer mes estadísticamente los tratamientos de labranza cero y arado de vertedera fueron más altos que los demás (Cuadro 17), repitiendo nuevamente en el segundo mes; los valores más bajos los presentó el arado subsolador. El tercer mes no hubo diferencia entre tratamientos, y el cuarto mes nuevamente el tratamiento de labranza cero, ahora con el de rastra, registraron estadísticamente la sortividad más alta.



(a) Ciclo OI 1994-95

(b) Ciclo PV -1995

Figura 11. Comportamiento de la sortividad del suelo.

En el ciclo PV-1995 destacó el tratamiento de labranza cero el cual en todo el ciclo mantuvo la más alta capacidad de absorber agua. Esto concuerda con los resultados encontrados por Osuna y Ventura (1991), quienes indican que la disminución de la sortividad es una propiedad indicadora de deterioro estructural del suelo. Asimismo el análisis de contrastes para los datos de sortividad del ciclo PV-1995 no presentaron diferencia significativa entre los tratamientos de labranza de cobertura y los de roturación, y al comparar los tratamientos de

roturación con el de labranza cero se detectó diferencia altamente significativa, lo mismo que en los de labranza de cobertura contra labranza cero.

Cuadro 17. Comparación de medias entre tratamientos en función del tiempo para la sortividad ($\text{cm}/\text{seg}^{-1/2}$) ciclo PV-1995.

Tratamiento	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
A Cinceles	1.7847	2.8226	1.9429	1.4183
A Discos	1.8101	2.8828	1.1869	2.5267
A Subsoleador	1.5377	1.6791	1.3478	2.0547
A Vertedera	1.9732	3.1551	1.3999	0.7960
L Cero	2.9331	3.4864	1.2359	2.7668
Rastra	1.9051	2.5337	1.5189	2.9440

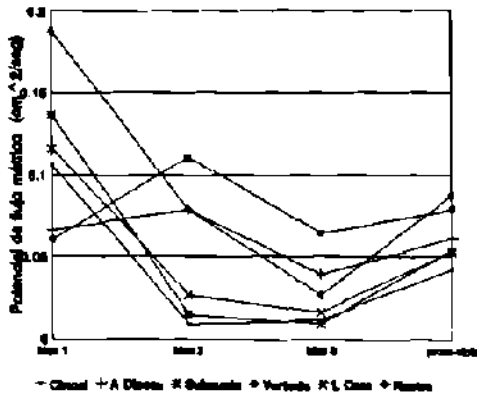
DMS Mes en Trat = 1.0217 DMS Trat en Mes = 0.8702

4.1.8. Potencial de flujo mátrico (ψ)

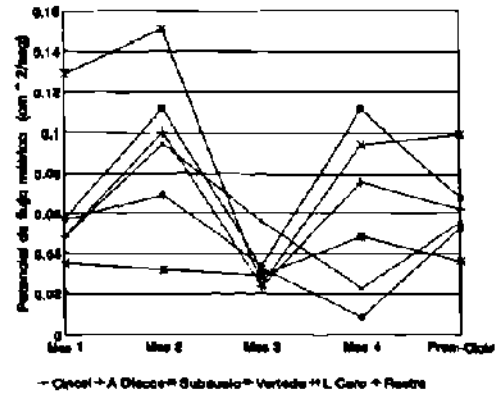
El análisis de varianza para los datos del potencial de flujo mátrico del ciclo OI 1994-95 (Cuadro A7) presentó diferencia significativa entre los tratamientos y altamente significativa tanto en función del tiempo como para la interacción de los tratamientos en el tiempo. En la Figura 12a se puede ver el comportamiento de los tratamientos durante el ciclo agrícola y en el primer mes, el cual corresponde al mes en que se regó, el tratamiento cuyo potencial alcanzó los valores más altos fue el de rastra de discos, y el más bajo correspondió a los tratamientos de implementos de cobertura, los cuales fueron superados por los de roturación, que en este mes no fueron diferentes del de labranza cero.

El segundo y el tercer mes se invierte el comportamiento y los tratamientos de arados de vertedera y discos presentaron estadísticamente los valores más altos, y los de arados subsoleador y de cinceles los más bajos.

En general inmediatamente después de los riegos, los tratamientos de los arados de vertedera y discos presentaron la menor capacidad para succionar el agua, pero en los meses siguientes fueron los que presentaron las mejores condiciones. La labranza cero se mantuvo en una posición intermedia entre los implementos de cobertura y los de roturación.



(a) Ciclo OI 1994-95



(b) Ciclo PV 1995

Figura 12. Comportamiento del potencial de flujo mátrico.

4.1.9. Agregados.

4.1.9.1 Distribución (Dag).

La distribución de los agregados presentó un comportamiento cíclico, ya que registró marcadas diferencias entre el ciclo OI 1994-95 y el PV-1995. En el ciclo de invierno los datos presentaron diferencia significativa por la acción de los implementos (Cuadro A8) y diferencia altamente significativa para la profundidad en función del tiempo, y de acuerdo al Cuadro 18, la distribución de agregados fue estadísticamente mayor en la capa 00-15 cm, presentando variación con el tiempo en forma diferente para cada profundidad, lo cual concuerda con los resultados de Gregorich *et al.* (1993).

Para la profundidad 00-15 cm, los agregados de mayor tamaño se presentaron un mes después del riego. En esta profundidad, la proporción mas baja de agregados correspondió al último mes. En lo que respecta a la profundidad 15-30 cm, la distribución de agregados estadísticamente más baja se registró en el mes en que se regó, ya que como se puede observar antes del riego y un mes después, la distribución de agregados fue significativamente mayor que en el mes que se efectuó el riego, aumentando posteriormente con el tiempo.

Como puede apreciarse en la Figura 14a, los valores más altos de la distribución de los agregados en la profundidad 00-15 cm después del riego correspondieron a la rastra, seguido por la labranza cero, arado de vertedera y arado subsoleador, quedando el arado de discos entre los tratamientos que presentaron una menor distribución de agregados.

Cuadro 18. Comparación de medias para la distribución de los agregados (% DPM) en la interacción muestreos - profundidades (cm) ciclo OI 1994-1995.

Muestras	00-15	15-30
Mes 1	0.3671 B	0.3746B
Mes 2	0.3675 B	0.3391C
Mes 3	0.3844 A	0.3674B
Mes 4	0.3407 C	0.3884 A

En la Cuadro A8 se puede ver como en el ciclo PV-1995 presenta diferencias altamente significativas para el factor tiempo, profundidad y acción de los implementos por profundidad. En lo que respecta al comportamiento de la distribución de los agregados en función del tiempo, independientemente del implemento, en la Figura 13b se puede observar cómo bajaron estadísticamente los valores después del primer riego (0.3512%) y continuaron descendiendo con el tiempo, para alcanzar al final del ciclo un valor promedio de 0.297%. En la distribución por profundidades estadísticamente la profundidad 15-30 cm registró estadísticamente el promedio general más alto con 0.3567% contra 0.2847% de la 00-15 cm.

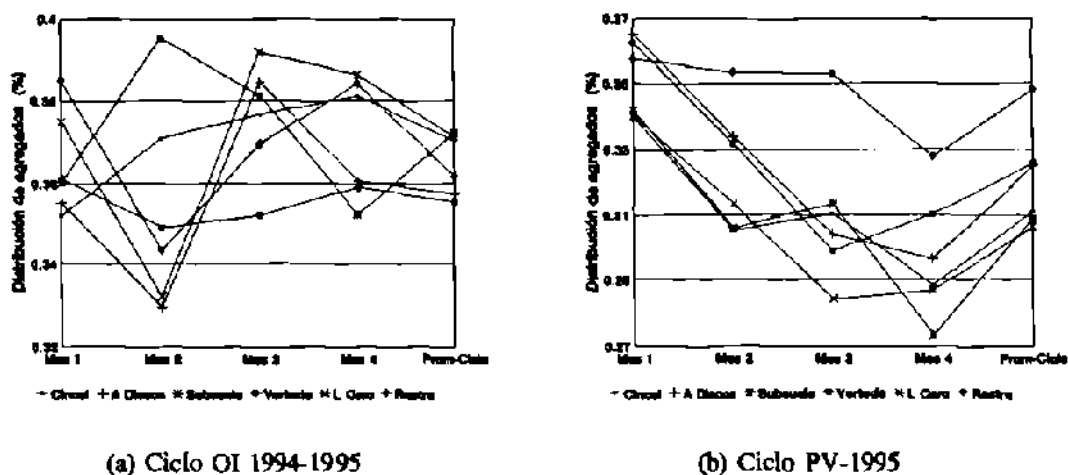


Figura 13. Distribución de agregados en los ciclos.

La distribución de los agregados para la interacción de la acción de los implementos con la profundidad registró en la profundidad 00-15 cm a los tratamientos de los arados de vertedera, discos y a la rastra con valores estadísticamente más altos que los demás, y en la profundidad 15-30 cm el de la rastra sobresale significativamente a los demás tratamientos. Los arados subsoledor y de cinceles presentaron también valores muy semejantes entre sí, durante todo el

ciclo, y la labranza cero presentó un comportamiento semejante al de los arados de vertedera y discos, pero con valores marcadamente menores, ya que durante todo el ciclo se mantuvo entre los más bajos, lo cual difiere de lo reportado por Gregorich *et al.* (1993).

Después de los riegos, los tratamientos de los implementos de roturación incrementaron sus valores, y por el contrario los demás tratamientos presentaron una disminución, siendo los más estables los correspondientes al arado de vertedera. El del arado de discos registró los valores más bajos de todos los tratamientos después de los riegos.

4.1.9.2. Estabilidad en seco (Eas).

Los análisis estadísticos de los datos de este parámetro no muestran diferencias entre tratamientos en ningún ciclo, por lo que se considera que los implementos no influyeron en los cambios que presentó la estabilidad de los agregados en seco. En el ciclo PV-1995 se presentó diferencia estadística entre las profundidades, registrándose mayor estabilidad en la segunda profundidad como se puede ver en la Cuadro 19, ya que ésta se encuentra sujeta a un menor efecto por parte de las fuerzas externas.

Cuadro 19. Medias para la estabilidad de los agregados en seco (% DPM) por profundidad ciclo PV-1995.

Prof. (cm)	Media
00 - 15	85.6750 B
15 - 30	88.0108A

4.1.9.3. Estabilidad en húmedo (Eah).

El análisis de varianza para los datos correspondientes al ciclo OI 1994-95 presentaron diferencia altamente significativa para la acción de los implementos en función del tiempo en cada profundidad (Cuadro A9).

El análisis del comportamiento de la estabilidad en húmedo para los tratamientos en función del tiempo y profundidad presentó a los tratamientos de arado de cinceles y labranza cero con valores estadísticamente mayores, correspondiendo ambos al primer mes del ciclo (que en promedio general fue el mes con valores más altos de estabilidad), pero el arado de cinceles en ambas profundidades el primer mes y en la 00-15 cm el segundo; la labranza cero únicamente

en la profundidad 15-30 cm. Asimismo, los valores más bajos estadísticamente los registraron los tratamientos de los arados de discos y vertedera, ambos en el tercer mes (en promedio general el tercer mes fue estadísticamente en el que se registró la estabilidad más baja del ciclo) pero el de discos en ambas profundidades y el de vertedera únicamente en la 00-15 cm.

En la profundidad 00-15 cm el tratamiento del arado de cinceles presentó en promedio la mayor estabilidad durante el ciclo, y el arado subsoleador y la rastra el más bajo pero con menores variaciones. Los tratamientos de los arados de discos y vertedera registraron un comportamiento muy semejante en esta profundidad, presentando una marcada disminución en el tercer mes (correspondiente al segundo riego) para incrementar nuevamente en el cuarto mes. La labranza cero con tendencia a disminuir un comportamiento más estable durante el ciclo. El análisis de contrastes mostró diferencia altamente significativa entre los tratamientos de los implementos de cobertura y los de roturación, no presentando contrastes entre ninguno de estos grupos con la labranza cero.

En la Figura 14 puede observarse cómo la estabilidad de los agregados en húmedo tendió a disminuir después del riego, y al final del ciclo presentó una tendencia a regresar a sus valores iniciales.

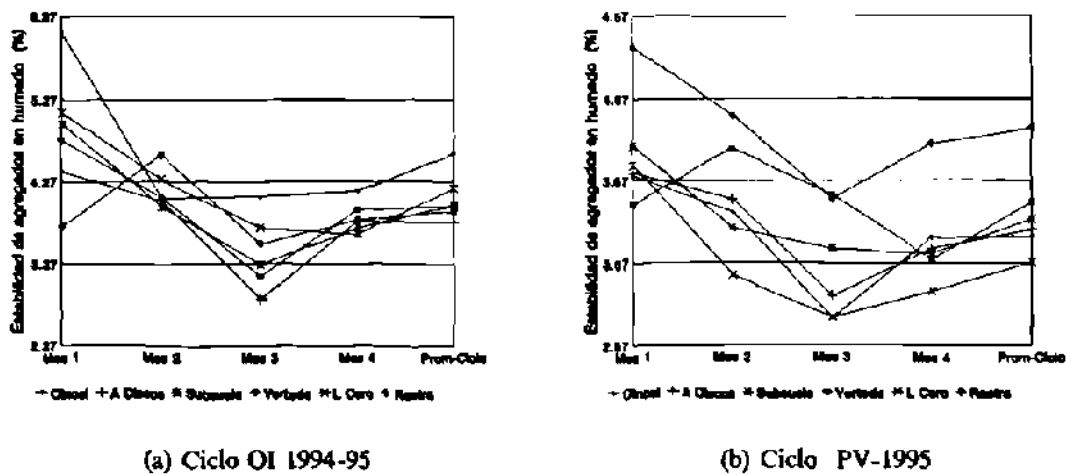


Figura 14. Comportamiento de la estabilidad de los agregados en húmedo.

Los tratamientos de los implementos de cobertura presentaron menor estabilidad en húmedo durante el ciclo OI 1994-95, registrando los valores más bajos acorde con lo reportado por Kay (1990), quien indica que la mayor manipulación del suelo asociada con el arado de vertedera, propició una menor estabilidad y una capa de suelo con agregados más finos. Pero en el ciclo PV-95 el tratamiento del arado de vertedera registró la mayor estabilidad junto con los

tratamientos de la rastra y el arado de disco.

La labranza cero presentó un comportamiento muy similar en ambos ciclos, pero diferente en cuanto a los demás implementos, ya que mientras en el ciclo de invierno se manifestó entre los valores más altos, en el ciclo PV registró la menor estabilidad de agregados en húmedo de todos los tratamientos durante el ciclo.

Los datos del ciclo PV-1995 presentaron diferencia altamente significativa únicamente para el comportamiento de la estabilidad en función del tiempo, y significativa para la interacción profundidad con tiempo. Los valores más altos de estabilidad en general registraron un comportamiento muy similar en ambas profundidades, pero con valores más altos en la profundidad 00-15 cm, presentando la mayor estabilidad durante el primer mes (en el cual se regó) y disminuyendo hasta el tercero, para incrementarse nuevamente en el cuarto mes como puede apreciarse en la Figura 14b.

Lo anterior concuerda con lo reportado por Kay (1990), quien indica que la estabilidad de los agregados presenta variación estacional, la cual pueden ser relacionada con los contenidos de humedad al momento del muestreo, indicando posteriormente Gregorich *et al.* (1993) que no encontró diferencia significativa para el diámetro del peso medio de los agregados estables al agua entre los tratamientos de labranza a diferentes profundidades, con muestreos en el tiempo.

4.1.10. Consistencia.

4.1.10.1 Limite liquido (Ll).

El análisis estadístico de los datos del límite líquido (Cuadro A10) presentó diferencia altamente significativa para los tratamientos y para los muestreos en el tiempo, y significativas para la interacción de los muestreos con las profundidades y la interacción de segundo orden que contempla la acción de los implementos en función del tiempo y profundidad (TxMxP).

En el ciclo para la profundidad 00-15, cm el tratamiento de labranza cero en el primer mes fue significativamente más alto que los demás tratamientos como puede observarse en el Cuadro 20, y los tratamientos de los arados subsoleador, cinceles y la rastra de discos los porcentajes más bajos en esta profundidad, quedando los arados de discos y vertedera con porcentajes promedios a lo cual el análisis por contrastes ortogonales indica que hay diferencia altamente significativa entre la labranza cero y los tratamientos de roturación, al igual que entre los tratamientos de cobertura y los de roturación, pero no existe diferencia al contrastar la labranza cero con los tratamientos de los implementos de cobertura. En esta misma profundidad

prácticamente todos los tratamientos registraron sus porcentajes más altos de límite líquido en el segundo y tercer mes, y los más bajos en el primer mes, a excepción de los tratamientos de labranza cero y cinceles.

Cuadro 20. Medias para la interacción tratamiento-mes-profundidad del límite líquido (% Hu) ciclo OI 1994-95.

T	M	00-15 (cm)	00-30 (cm)	T	M	00-15 (cm)	00-30 (cm)	T	M	00-15 (cm)	00-30 (cm)
AC	1	27.23	25.16	AD	1	26.33	29.76	LC	1	37.23	28.13
AC	2	28.10	27.20	AD	2	32.60	34.96	LC	2	27.90	29.83
AC	3	31.00	31.56	AD	3	33.26	32.60	LC	3	31.53	32.63
AC	4	25.93	25.83	AD	4	32.26	28.56	LC	4	28.16	26.33
AS	1	26.80	27.43	AV	1	26.90	30.20	RD	1	26.16	27.90
AS	2	33.96	29.00	AV	2	32.13	32.43	RD	2	32.41	34.03
AS	3	32.43	31.43	AV	3	28.30	34.03	RD	3	33.50	34.26
AS	4	24.96	27.56	AV	4	31.30	25.30	RD	4	27.93	27.13

DMS Prof en Trat-Mes - 3.579

DMS Mes en Trat-Prof - 3.130

DMS Trat en Mes-Prof - 2.235

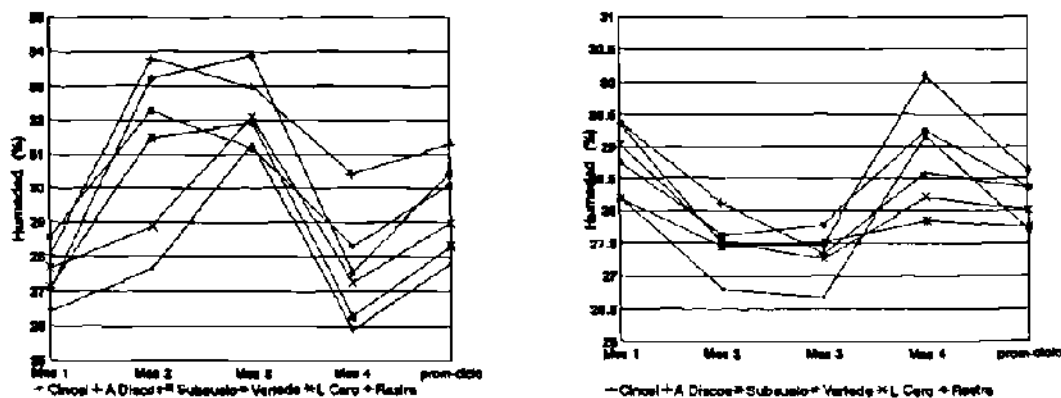
En la profundidad 15-30 cm el comportamiento entre tratamientos fue más estable, registrando los porcentajes estadísticamente más altos los tratamientos de los arados de discos, vertedera y la rastra, y nuevamente los porcentajes más altos de cada tratamiento en el segundo y tercer mes del ciclo ahora en todos los tratamientos.

Los datos del ciclo PV 1995 presentaron diferencia significativa para la interacción de los muestreos con la profundidad, observándose que en la profundidad 00-15 cm se tuvieron en general los valores significativamente más bajos del ciclo, estadísticamente en el cuarto mes se registraron los porcentajes más altos de humedad para el límite líquido con 28.50 %, y los más bajos en el segundo mes con 26.33 %; por el contrario, para la profundidad 15-30 cm el porcentaje significativamente más alto correspondió al primer mes con 30.14 % y el más bajo al tercer mes con 27.94 %. Aunque en promedio los valores de la segunda profundidad fueron más altos, la mayor parte de los implementos presentó un comportamiento similar durante el ciclo, pero diferente en cada ciclo.

En general, los implementos que propiciaron el corte e inversión o mezcla del suelo registraron estadísticamente los porcentajes más altos de humedad para el límite líquido en ambos ciclos (Figura 15; Cuadro 20) y los de roturación presentaron los porcentajes más bajos. La labranza cero mostró un comportamiento cíclico al registrar en el ciclo OI 1994-95 los porcentajes en promedio más bajos del ciclo (únicamente el primer mes fueron los más altos),

y en PV 1995 los más altos.

Como puede verse en la Figura 15a en el ciclo OI 94-95, todos los tratamientos presentaron un considerable incremento después del riego, y mantuvieron valores altos para retornar a porcentajes similares a los de antes del riego al finalizar el ciclo. En el ciclo PV-1995 todos los tratamientos bajaron sus porcentajes después del riego y los mantuvieron bajos hasta el final del ciclo cuando tendieron a retornar a porcentajes similares a los del inicio del ciclo.



(a) Ciclo OI 1994-95

(b) Ciclo PV-1995

Figura 15. Comportamiento del límite líquido durante el ciclo.

Los arados de discos y vertedera presentaron un comportamiento muy similar durante cada mes, del ciclo, aunque los valores del arado de vertedera siempre fueron menores

4.1.10.2. Límite plástico (Lp).

El análisis estadístico de los datos del límite plástico para el ciclo OI 1994-95 (Cuadro A10) presentan diferencia altamente significativa para la interacción de segundo orden tratamientos-muestras-profundidad, y para los muestreos en general. En la profundidad 00-15 cm (Cuadro 21) el tratamiento de arado de cinceles presentó estadísticamente poca variación al registrar únicamente su porcentaje más significativamente bajo el cuarto mes del primer ciclo y en los meses restantes no se registró diferencia estadística (Figura 16); en la profundidad 15-30 cm no registró diferencia en el ciclo, únicamente en el cuarto mes presentó diferencia significativa entre las profundidades al registrar el valor más alto en la profundidad 15-30 cm.

El tratamiento de arado subsoleador presentó un comportamiento igual al del arado de cinceles en la profundidad 00-15 cm y en la 15-30 cm registró sus valores significativamente más

altos el primer y tercer mes, y los más bajos en el segundo y cuarto mes; únicamente en el cuarto mes presentó diferencia significativa entre las profundidades al registrar el valor más alto en la profundidad 15-30 cm.

Cuadro 21. Medias para la interacción tratamiento - mes - profundidad del límite plástico (% Hu) ciclo OI 1994-95.

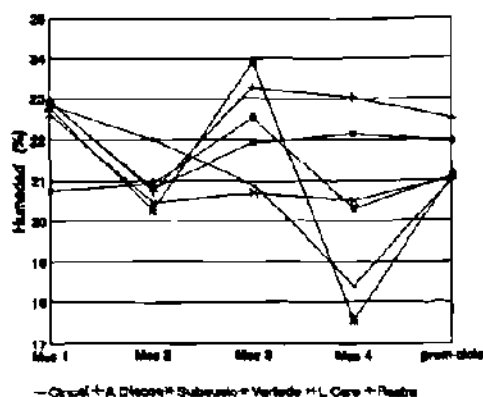
T	Mes 1		Mes 2		T	Mes 3		T	Mes 4		
	00-15	00-30	00-15	00-30		00-15	00-30		00-15	00-30	
AC	23.18	22.46	AC	22.25	21.77	AC	20.69	21.07	AC	15.35	21.46
AD	22.13	23.74	AD	19.88	21.58	AD	22.06	24.49	AD	25.08	20.97
AS	21.81	23.70	AS	21.53	18.97	AS	24.82	22.99	AS	16.25	18.81
AV	23.58	22.24	AV	19.04	22.58	AV	19.96	23.87	AV	25.13	19.16
LC	22.12	23.10	LC	19.03	21.87	LC	17.99	23.42	LC	20.56	20.42
RD	22.10	19.50	RD	23.00	18.87	RD	22.22	22.81	RD	21.28	19.30

DMS Prof en Trat-Mes = 4.5502

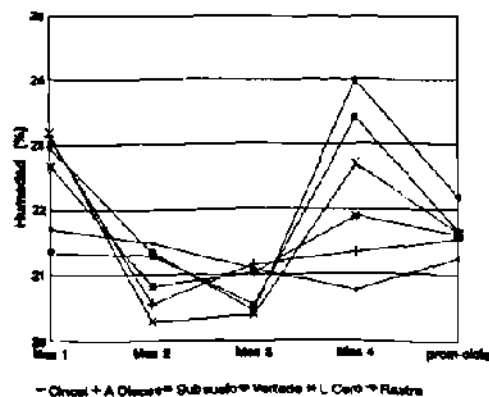
DMS Mes en Trat-Prof = 3.9412

DMS Trat en Mes-Prof = 2.6413

El tratamiento de arado de discos en el segundo mes presentó diferencia significativa en la profundidad 00-15 cm al registrar su porcentaje más bajo y mantener en los demás meses sin variación significativa incluso entre profundidades. El tratamiento de arado de vertedera registró sus porcentajes estadísticamente más bajos el segundo y tercer mes en la profundidad 00-15 cm y el cuarto mes en la 15-30 cm, con diferencia entre profundidades únicamente en el cuarto mes.



(a) Ciclo OI 1994-95



(b) Ciclo PV-1995

Figura 16. Comportamiento del límite plástico por implemento.

El tratamiento de la labranza cero en el tercer mes presentó diferencia significativa en la profundidad 00-15 cm al registrar su porcentaje más bajo y mantener el los demás meses sin variación significativa incluso entre profundidades. El tratamiento de la rastra de discos no presentó diferencia estadística entre meses, pero en el segundo mes la profundidad 15-30 cm fue significativamente más baja.

En el ciclo PV-1995 los datos presentaron diferencia estadística en la interacción de los muestreos con las profundidades, y la profundidad 00-15 cm que fue la que registró en promedio general los porcentajes significativamente más bajos de humedad para el límite plástico presentó su valor estadísticamente más alto en el cuarto mes y el más bajo en el segundo, sin diferencia entre los otros pero con diferencia estadística entre las profundidades en el primero y el segundo mes en los que resultó significativamente menor. La profundidad 15-30 cm alcanzó su valor más alto el primer mes y el más bajo en el tercero.

El comportamiento del límite de plástico fue muy semejante en ambos ciclos, no presentando diferencia estadística entre los tratamientos (Cuadro A10), pero sí entre muestreos, notándose una dependencia de su comportamiento a los riegos al registrar un marcado descenso después de regar y una tendencia a la recuperación al finalizar cada ciclo.

4.1.10.3. Índice de plasticidad (Ip).

En el ciclo OI 1994-95 este parámetro no presenta diferencia significativa, lo que indica que estadísticamente no hay variación por efecto de los implementos.

Para el ciclo de PV-1995 el análisis estadístico presentó diferencia altamente significativa para este índice en función del tiempo y significativa para la interacción de las profundidades con los muestreos, lo que indica que la variación no fue por efecto de los implementos (Cuadro A11).

4.1.10.4. Punto de pegajosidad (Pp).

El análisis estadístico del punto de pegajosidad para el ciclo OI 1994-95 no presentó diferencia estadística para el efecto de los implementos.

En el ciclo de PV-1995 el análisis estadístico de los datos (Cuadro A11) del punto de pegajosidad presentaron diferencia significativa para la acción de los implementos en función de la profundidad; en la profundidad 00-15 cm el porcentaje de humedad estadísticamente más bajo lo registraron los tratamientos de los arados de vertedera, discos y cinceles y los del arado

subsoleador, labranza cero y rastra tuvieron valores más altos sin diferencia entre ellos.

En la profundidad 15-30 cm los tratamientos presentaron menos variación, destacando los del arado de vertedera con porcentajes más significativamente más altos que los de los arados de discos y subsoleador. Para la comparación de los tratamientos entre las profundidades, fueron estadísticamente menores los porcentajes de los arados de vertedera y cinceles en la profundidad 00-15 cm.

Cuadro 22. Medias para el punto de pegajosidad (% Hu) por profundidad (cm) ciclo PV-1995.

Tratamiento	Profundidad	
	00-15	15-30
A Cinceles	19.24	20.96
A Discos	19.91	20.48
A Subsoleador	20.82	20.56
A Vertedera	19.18	21.87
L Cero	20.60	20.94
Rastra	20.59	21.48

DMS Prof en Trat - 1.1653 DMS Trat en Prof - 1.2101

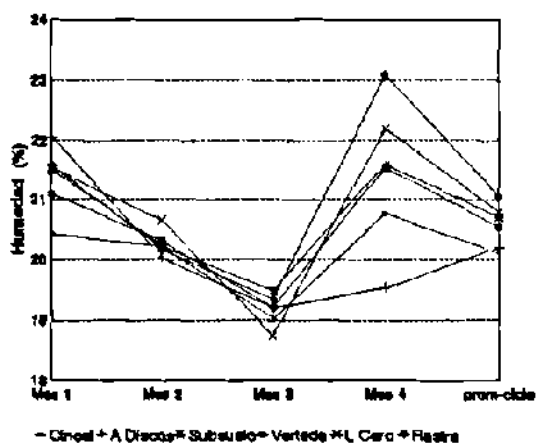


Figura 17. Comportamiento del punto de pegajosidad por implemento ciclo PV-1995.

4.1.10.5. Índice de flujo (If).

El análisis estadístico del índice de flujo del ciclo OI 1994-95 presentó significancia en la interacción de tratamientos con muestreos y profundidades (Cuadro A11). El Cuadro 23 (Figura 18) presenta las medias para la interacción de segundo orden tratamiento x mes x

profundidad en el cual se puede ver cómo el primer mes en la profundidad 00-15 cm el índice de flujo en el tratamiento del arado de cinceles resultó significativamente más alto que en los demás tratamientos, y en la profundidad 15-30 cm los tratamientos de rastra, arados de cinceles y discos presentaron el índice de flujo más alto y el de labranza cero y del arado de vertedera los más bajos.

El segundo mes en la profundidad 00-15 cm el arado de vertedera y la labranza cero presentaron los valores significativamente más altos; en la profundidad 15-30 cm los tratamientos de labranza cero y arado subsoleador registraron estadísticamente los valores más altos y el resto de los tratamientos no presentó diferencia entre ellos.

El tercer mes en la profundidad 00-15 cm registraron los valores más altos los tratamientos de los arados de cinceles, subsoleador y rastra, y los significativamente más bajos fueron rastra, vertedera, labranza cero y arado de discos; en la profundidad 15-30 cm presentaron los valores significativamente más altos los tratamientos de los arados subsoleador, discos y rastra. Los más bajos el arado de cinceles y la labranza cero.

Cuadro 23. Medias para la interacción tratamiento-mes-profundidad del índice de flujo (% Hu) ciclo OI 1994-95.

T	Mes 1		T	Mes 2		T	Mes 3		T	Mes 4	
	00-15	00-30		00-15	00-30		00-15	00-30		00-15	00-30
AC	8.97	16.02	AC	6.27	10.10	AC	13.54	5.48	AC	6.70	12.0
AD	12.00	15.43	AD	16.86	9.29	AD	6.77	12.40	AD	10.39	12.5
AS	16.90	12.43	AS	9.27	13.14	AS	11.96	13.89	AS	7.81	11.5
AV	12.59	8.40	AV	7.22	8.22	AV	8.93	9.08	AV	12.70	7.48
LC	11.50	12.07	LC	14.07	15.98	LC	8.31	4.91	LC	6.76	8.61
RD	8.81	19.20	RD	9.62	7.29	RD	9.83	10.95	RD	10.96	7.84

DMS Prof en Trat-Mes = 5.3151

DMS Mes en Trat-Prof = 4.8928

DMS Trat en Mes-Prof = 3.9370

El cuarto mes en la profundidad 00-15 cm registraron los valores estadísticamente más altos los tratamientos: arado de discos, rastra y arado de vertedera, y en la profundidad 15-45 cm los tratamientos de los arados de discos, cinceles, subsoleador y labranza cero, quedando el del arado de vertedera entre los más bajos. En general, en el primer mes se registraron estadísticamente los valores de índice de flujo más altos del ciclo.

Para la profundidad 00-15 cm, el tratamiento del arado de cinceles registró en el tercer mes su índice de flujo significativamente más alto y en la profundidad 15-30 cm el primero y el cuarto mes fueron estadísticamente más altos, presentando el valor más bajo el tercer mes. El

tratamiento del arado subsoleador en la profundidad 00-15 cm registró su valor significativamente más alto en el primer mes, y los más bajos el segundo y cuarto mes.

En la profundidad 15-30 cm no se registró diferencia significativa entre tratamientos. El tratamiento del arado de discos en la profundidad 00-15 cm presentó su valor más alto en el segundo y primer mes, y en la profundidad 15-30 cm en el primero, cuarto y tercer mes. El tratamiento del arado de vertedera en la profundidad 00-15 cm registró su valores más altos en los meses cuarto y primero, y para la profundidad 15-30 cm no registró diferencia; el tratamiento de labranza cero en la profundidad 00-15 cm presentó su valor más alto en el segundo y primer mes y en la profundidad 15-30 cm en el segundo mes, su valor más bajo lo presentó el tercer mes. El tratamiento de la rastra de discos no presentó diferencia en la profundidad 00-15 cm y en la profundidad 15-30 cm registro su valor más alto en el primer mes y el más bajo en el segundo y cuarto mes.

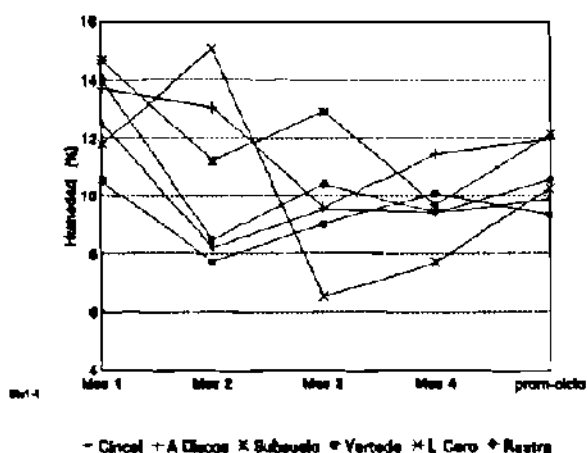


Figura 18. Comportamiento del índice de flujo por implemento ciclo OI 1994-95.

En el ciclo PV-1995 el resultado del análisis estadístico (Cuadro A11) no presentó diferencia en función de la acción de los implementos.

4.1.11. Módulo de contracción (Mc).

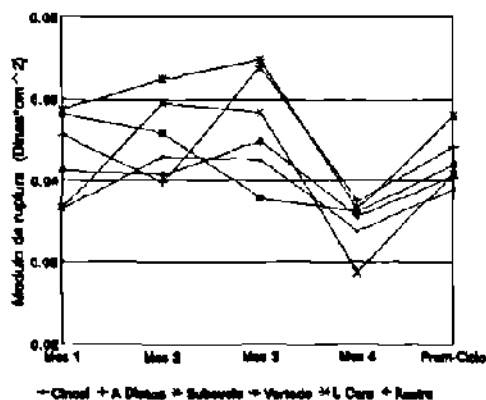
Este parámetro no presenta diferencias en ninguno de los ciclos, lo que indica que no presenta variación por efecto de los implementos ni en función del tiempo ni de la profundidad.

no presentan diferencia significativa, y el cuarto mes los tratamientos de los arados de vertedera, discos y cinceles, los cuales presentaron los valores significativamente más altos (Cuadro 25).

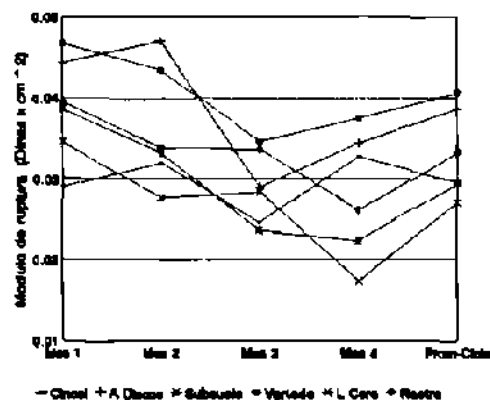
Cuadro 25. Medias para la interacción tratamiento-muestras del modulo de ruptura (dinas/cm^2) ciclo OI 1994-95.

T	Mes 1 Mr	T	Mes 2 Mr	T	Mes 3 Mr	T	Mes 4 Mr
AV	0.0476	AD	0.0470	AV	0.0347	AV	0.0376
AD	0.0443	AV	0.0434	RD	0.0337	AD	0.0345
RD	0.0396	RD	0.0338	AD	0.0289	AC	0.0328
AS	0.0387	AS	0.0332	LC	0.0283	RD	0.0260
LC	0.0346	AC	0.0320	AC	0.0245	AS	0.0223
AC	0.0290	LC	0.0276	AS	0.0235	LC	0.0174

DMS Trat en Mes = 0.011805 DMS Mes en Trat = 0.01146



a) Ciclo OI 1994-95



b) Ciclo PV-1995

Figura 19 Comportamiento del modulo de ruptura

Los tratamientos de los implementos de cobertura presentaron significativamente mayor resistencia al compararse con los de roturación. La rastra de discos y la labranza cero, mostraron un comportamiento similar durante el ciclo, pero con valores más bajos la labranza cero al grado de alcanzar el más bajo en el cuarto mes y el valor promedio del ciclo más bajo, lo cual indica que los tratamientos de la labranza cero presentaron la superficie con menor resistencia a la ruptura.

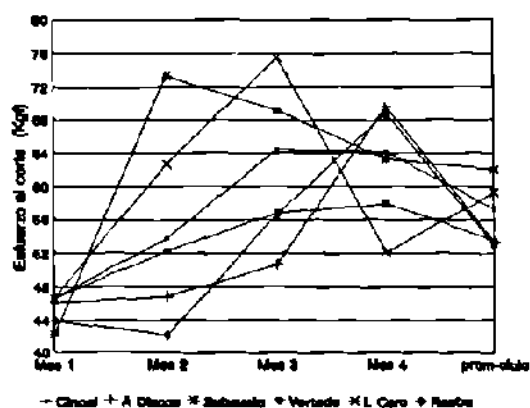
4.1.13. Esfuerzo al corte

4.1.13.1 Marco torsional (Ec)

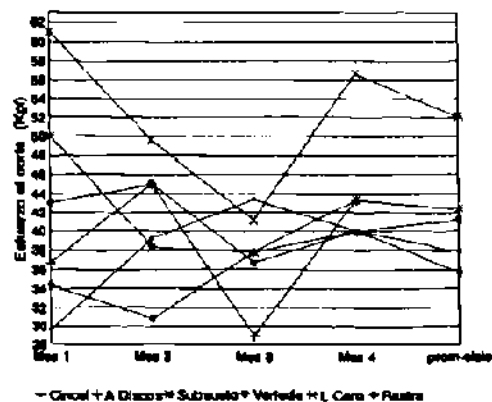
El análisis estadístico (Cuadro A13) del esfuerzo al corte por torsión en el ciclo OI 1994-95 presentó diferencia significativa en función del tiempo, registrando los valores significativamente más bajos el primer mes (Figura 20a), con un promedio general de 45.37 Kilogramos-fuerza ($k_{z,r}$), el cual aumentó con el tiempo sin presentar diferencia estadística el resto del ciclo.

En el ciclo PV-1995, donde las temperaturas fueron más altas, el análisis estadístico (Cuadro A13) presentó diferencia altamente significativa entre tratamientos y en la interacción de los implementos con los muestreos. En el primer mes sobresalen estadísticamente los tratamientos de la labranza cero y arado subsoleador con los valores más altos y por el contrario, los tratamientos de arado de cinceles, rastra y arado de discos presentaron significativamente el menor esfuerzo al corte.

En el segundo mes los tratamientos de labranza cero y los arados de discos, cinceles y vertedera registraron los valores más altos, y los de arado subsoleador, rastra y arado de cinceles los más bajos. En el tercer mes la mayor resistencia la presentaron los tratamientos de arado de cinceles, labranza cero, arado subsoleador, rastra y arado de vertedera. El cuarto mes destaca estadísticamente el tratamiento de labranza cero al presentar la mayor resistencia al corte ya que los demás tratamientos no presentaron diferencia entre ellos.



a) Ciclo OI 1994-95



b) Ciclo PV-1995

Figura 20. Comportamiento del esfuerzo al corte torsional por implemento.

En la Figura 20b puede observarse cómo la labranza cero prácticamente mantuvo los más altos valores de esfuerzo al corte durante el ciclo seguido del arado subsoleador, que presentó los valores más altos al principio; los arados de vertedera y de discos se mantuvieron en un punto intermedio, registrando los valores más bajos del tercer mes.

4.1.13.2. Veleta (Tv).

Los resultados estadísticos de los datos del torvane no presentaron diferencia entre los tratamientos para esta prueba en ninguno de los ciclos.

4.1.13.3. Esfuerzo al corte en el fondo de trabajo.

En el análisis de datos (Cuadro A.13a) de la determinación del esfuerzo al corte torsional en el fondo de trabajo de la herramienta de corte indicó diferencia altamente significativa entre los tratamientos, pudiéndose observar en el Cuadro 26 que el del arado de vertedera presentó estadísticamente la mayor resistencia al corte, originado por el aplanado que deja la vertedera en el suelo donde va realizando el corte horizontal.

Cuadro 26. Comparación de medias para el esfuerzo al corte (K_{sT}) en el fondo de trabajo

Tratamiento	Media
A Vertedera	113.33
A Subsoleador	75.00
A Cinceles	75.00
C Labranza	52.08
A Discos	51.97
Rastra	49.16

DMS = 11.82731

Mucha menor resistencia registraron los tratamientos de los arados subsoleador y cinceles, entre quienes no hay diferencia, ya que realizaron una acción semejante pero diferente en agresividad al empujar y roturar el suelo para aflojarlo en una sección piramidal invertida para cada timón que presentó una sección aflojada sobre el traslape originado por la acción de los timones y otra endurecida con resquebrajamiento bajo el traslape. Estadísticamente la menor resistencia la presentaron los tratamientos de labranza cero, arado de discos y rastra, que dejaron

un resquebrajamiento muy poco profundo entre las concavidades hechas por los discos al cortar y girar.

4.1.14 Resistencia al impacto (Ri)

En el ciclo OI 1994-95, el análisis estadístico de los datos (Cuadro A13) no presenta diferencia significativa para ninguno de los factores.

En el ciclo PV-1995 el análisis estadístico (Cuadro A13) presentó diferencia significativa para los tratamientos, las profundidades y la interacción de ambos. En el Cuadro 27 se presenta la comparación de medias para la interacción de los factores, y se puede apreciar que para la profundidad 00-15 cm los tratamientos de los arados de cinceles, vertedera y discos presentaron significativamente mayor resistencia al impacto de los agregados, y en la profundidad 15-30 cm únicamente el tratamiento de la rastra es significativamente diferente a los demás al presentar menor resistencia al impacto.

Cuadro 27. Comparación de medias de la resistencia al impacto (% DPM) por profundidad ciclo PV-1995

Tratamiento	00-15	15-30
A Cinceles	87.80	87.74
A Discos	91.36	95.41
A Subsoleador	96.80	95.69
A Vertedera	91.68	94.85
L Cero	90.62	94.65
Rastra	87.61	97.19

DMS Prof en Trat = 4.3094 DMS Trat en prof = 5.88507

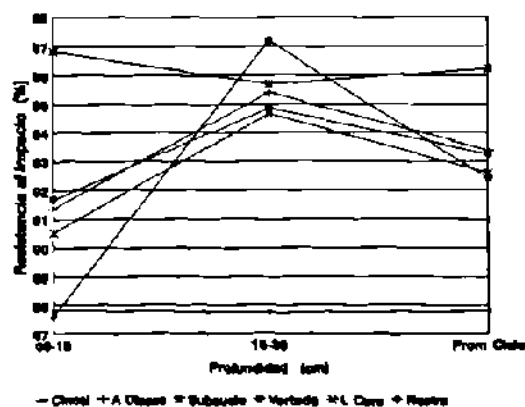


Figura 21. Resistencia al impacto por implemento ciclo PV-1995.

En promedio general como puede verse en la Figura 21, los tratamientos de labranza cero y rastra presentaron la menor resistencia al impacto, siendo diferentes estadísticamente a los demás. La mayor variación en la profundidad la registró la rastra de discos, ya que los demás tratamientos no variaron estadísticamente con la profundidad.

4.1.15. Relación funcional entre variables.

La conjunción de los datos de 21 variables de los ciclos OI 1994-95 y PV-1995 para la capa arable (00-30 cm) que se muestran en el Cuadro B1 en el Apéndice B, se analizaron mediante el procedimiento *stepwise* de análisis de regresión múltiple considerando a cada variable como dependiente de todas las demás, obteniéndose los estadísticos básicos (Cuadro B1 en el Apéndice B), la relación funcional entre las variables en estudio, la matriz de correlación y el resumen de los análisis de regresión para cada variable que se muestran también en el Cuadro B3 en el Apéndice B, los cuales corresponden a los resultados que presentaron los coeficientes de determinación más altos para una misma variable dependiente.

Los modelos que a continuación se presentan son aquellos cuyas relaciones funcionales registraron coeficiente de determinación de más del 50 %, y para los cuales se obtuvieron los valores predichos por cada modelo, y se les comparó gráficamente con los valores observados en campo.

4.1.15.1. Humedad (Hu).

$$\begin{aligned} HU = & 0.000419 + 0.999*P + 0.000021*Mc - 0.000037*Lp - 1.000006*Ae \\ & + 0.00308853*Dag \end{aligned} \quad (3)$$

En la Ecuación 3 se aprecia el modelo resultante para la variable Hu, el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 100 %, lo cual indica que este modelo explica completamente la variación de la humedad que se tiene en la capa arable en función de las variables de entrada al modelo como son (Ae, P, Dag, Mc y Lp).

Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional alta entre la variable dependiente e independientes, lo cual se aprecia en la Figura 22a, donde se puede observar la tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo.

En el modelo seleccionado, las variables que más influencia tienen en la variación de la humedad son aeración (Ae) y porosidad (P), ya que muestran significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) que en conjunto explican la variación total que se tiene en este estrato (00-30 cm).

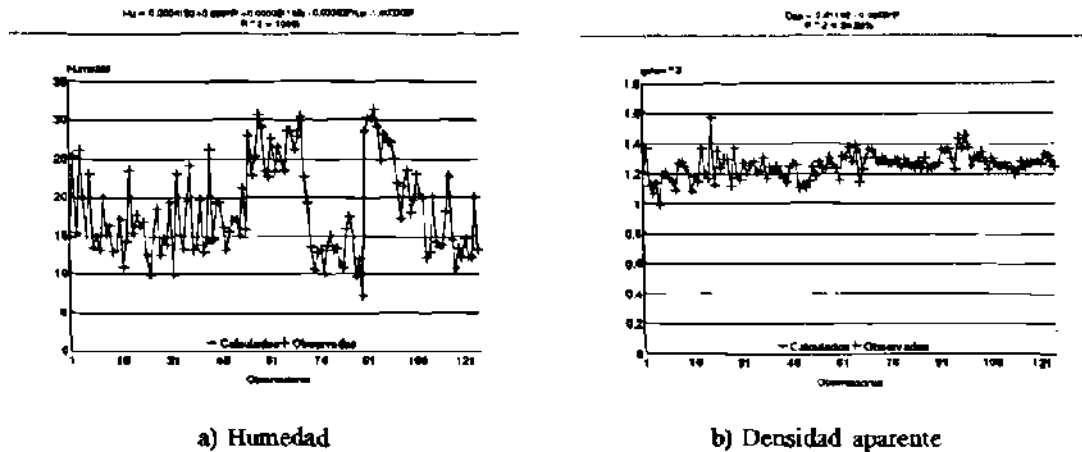


Figura 22. Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo.

4.1.15.2. Densidad aparente (Da).

$$Da = 2.61162644 - 0.02580584 * P \quad R^2 = 94.89\% \quad (4)$$

En la Ecuación 4 se aprecia el modelo resultante para la variable densidad aparente, el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 94.89 % lo que indica que este modelo explica la variación de la densidad aparente en la capa arable en función de la porosidad. Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional alta entre la variable dependiente e independientes, como se aprecia en la Figura 22b, donde se comparan la tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo. Otro modelo para esta misma variable considerando la humedad (Hu) y la aeración (Ae) pero sin incluir la porosidad en la regresión presentó una $R^2 = 94.97\%$ y es:

$$Da = 2.6313 - 0.0264Hu - 0.026Ae \quad R^2 = 94.97\% \quad (4b)$$

4.1.15.3. Temperatura (T)

$$T = 56.4018 - 20.8829 * \psi + 2.7565 * S - 0.30678 * P \\ - 0.45146 * Mc - 0.31818 * Ip + 0.1921 * If - 0.0948 * Ec \\ + 0.00277 * IC - 28.71 * Daq \quad (5)$$

La ecuación 5 explica un 68.95 % de la variación de la temperatura en el suelo en función de las variables independientes que entraron al modelo, como son: ψ , S, P, Mc, Ip, If, Ec, Ic y Dag, de las cuales más de un 50 % corresponde a la distribución de los agregados, a la sortividad y al módulo de contracción, según puede apreciarse en el Cuadro B4 del Apéndice B. La Figura 23a muestra la comparación de los valores predichos por el modelo y los observados en campo, los cuales presentan mucha similitud aunque su coeficiente de determinación fue relativamente bajo.

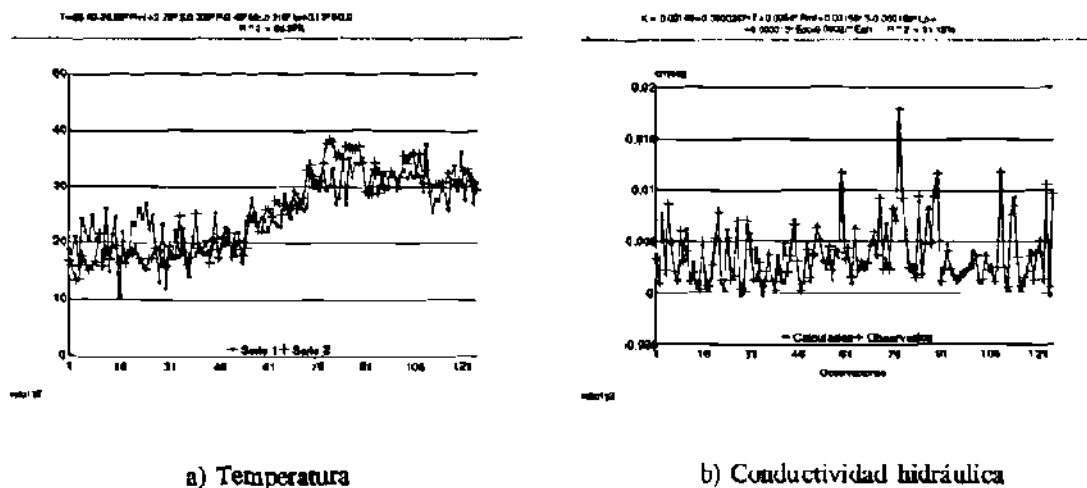


Figura 23. Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo.

4.1.15.4. Conductividad hidráulica (K_r).

$$\begin{aligned}
 K_r = & -0.00148 + 0.0000267 * T + 0.0354 * \psi + 0.00159 * S \\
 & -0.000189 * Lp + 0.00022 * Pp - 0.000075 * If + 0.000015 * Ec \\
 & -0.00027 * Eah
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

En la Ecuación 6 se aprecia el modelo resultante para la variable K_r , el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) del 91.19 %, lo que indica que este modelo explica en ese porcentaje la medida de la habilidad del suelo para conducir agua bajo una unidad de gradiente de potencial hídrico, en función de las variables que entraron al modelo como son (T, ψ , S, Lp, Pp, If, Ec y Eah). Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional alta entre la variable dependiente e independientes, lo cual se aprecia en la Figura 23b, donde se puede observar la tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo. En el modelo seleccionado, las variables que más influencia tienen en la variación de la

conductividad, son el potencial de flujo mátrico y la sortividad, ya que muestran significancia estadística al 99 % (Cuadro B4, Apéndice B) que en conjunto explican en un 87.57 % la variación total que se tiene en este estrato (00-30 cm).

4.1.15.6. Potencial de Flujo mátrico (ψ).

$$\psi = - 0.10385 + 19.808 * K - 0.0228 * S + 0.0030 * Lp - 0.003 * Pp + 0.0012 * If + 0.00095 * Eas + 0.010066 * Eah \quad (7)$$

En la ecuación 7 se aprecia el modelo resultante para la variable ψ , el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) del 81.55 %, lo que indica que este modelo explica en ese porcentaje la habilidad del suelo para jalar agua por fuerza capilar, cruzando a través de una área seccional en una unidad de tiempo, en función de las variables que entraron al modelo como son (K , S , Lp , Pp , If , Eas y Eah). Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional alta entre la variable dependiente e independiente, lo cual se aprecia en la Figura 24a, donde se puede observar la tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo.

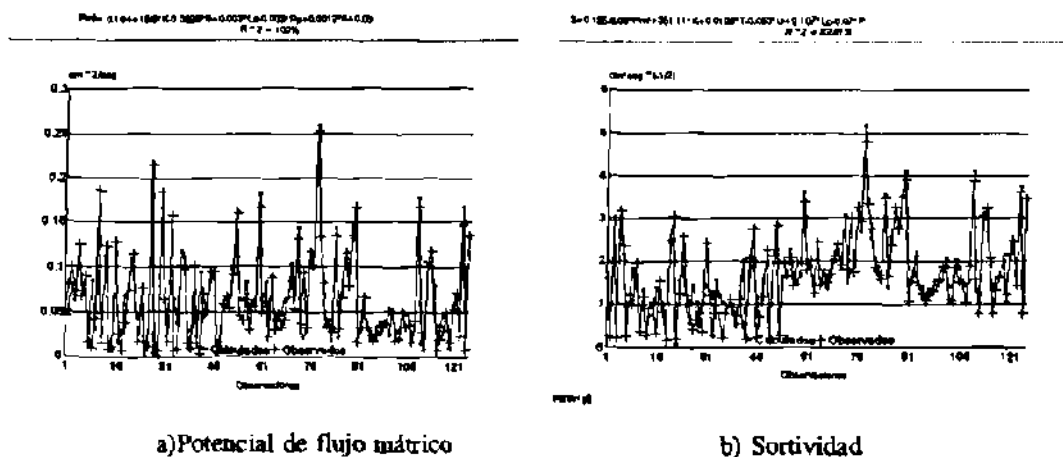


Figura 24. Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo.

En el modelo seleccionado, la variable que más influencia tiene en la variación es la conductividad, ya que muestra significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) y explica en un 65.9% la variación total que se tiene en este estrato (00-30 cm).

4.1.15.6. Sortividad (S)

$$\begin{aligned} S = & 0.155 - 8.0625*\psi + 351.11*K + 0.0126*T - 0.0534*LI \\ & + 0.107*Lp - 0.0728*Pp + 0.0229*If - 0.0079*Ec \\ & + 0.01756*Ae + 2.362*Dag \end{aligned} \quad (8)$$

En la Ecuación 8 se aprecia el modelo resultante para la variable S, el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) del 83.01 %, lo que indica que este modelo explica en ese porcentaje la capacidad que tiene el suelo para absorber agua sin influencia de la gravedad, en función de la variables que entraron al modelo como son ψ , K, T, LI, Lp, Pp, If, Ec, Ae y Dag. Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional relativamente alta entre la variable dependiente e independientes, como se aprecia en la Figura 24b, donde se puede observar la tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo. En el modelo seleccionado, la variable que más influencia tiene en la variación es la conductividad, ya que muestra significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) y explica en un 62 % la variación total que se tiene en este estrato (00-30 cm).

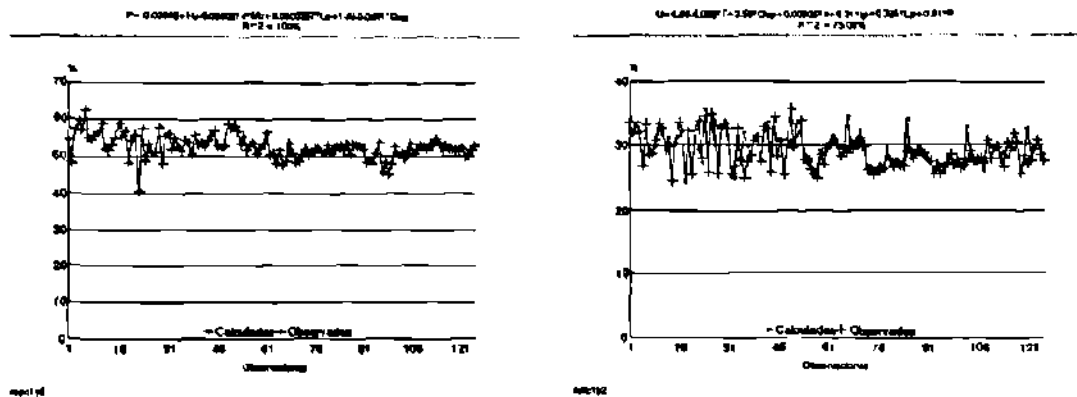
4.1.15.7. Porosidad (P).

$$\begin{aligned} P = & - 0.00042 + 1*Hu - 0.0000214*Mc + 0.0000367*Lp \\ & + 1.000025*Ae - 0.0031*Dag \end{aligned} \quad (9)$$

En la Ecuación 9 se aprecia el modelo resultante para la variable P, el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) del 100 %, e indica que este modelo explica en ese porcentaje variación que registra la porosidad del suelo en la capa arable, en función de la variables que entraron al modelo como son (Hu Mc, Lp, Ae y Dag). Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional muy alta entre la variable dependiente e independientes, misma que se aprecia en la Figura 25a, donde se puede observar la tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo. En el modelo seleccionado, la variable que más influencia tiene en la variación es la humedad, ya que muestra significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) y explica en un 94.89 % la variación total que se tiene en este estrato (00-30 cm).

En el modelo seleccionado, las variables que más influencia tienen en la variación de la humedad son aeración y porosidad, ya que muestran significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) que en conjunto explican la variación total que se tiene en este estrato (00-

30 cm).



a) Porosidad

b) Límite líquido

Figura 24. Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo.

4.1.15.7. Límite líquido (Ll)

$$LL = 6.68 - 0.068*T + 2.55*Da + 0.00925*Il + 0.3127*Ip + 0.325*Lp + 0.6117*Pp - 5.4421*Da_g \quad (10)$$

En la Ecuación 10 se aprecia el modelo resultante para la variable Ll, el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) del 75.06 %, lo que indica que este modelo explica en ese porcentaje los cambios en el contenido de humedad a los cuales se alcanza el límite líquido del suelo, en función de la variables que entraron al modelo como son T, Da, Il, Ip, Lp, Pp y Dag. Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional muy alta entre la variable dependiente e independientes, como se aprecia en la Figura 25b, donde se puede observar la tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo. En el modelo seleccionado, la variable que más influencia tiene en la variación es el punto de pegajosidad, ya que muestra significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) y explica en un 64.64 % la variación total que se tiene en este estrato (00-30 cm).

4.1.15.8. Límite plástico (Lp).

$$LP = 11.542 - 0.4726*Ip + 0.3839*Ll + 0.0839*T - 6.124*Da + 0.0556*Hu + 0.28*Pp + 0.01825*Ec \quad (11)$$

En la Ecuación 11 se aprecia el modelo resultante para la variable Lp, el cual presenta

un coeficiente de determinación (R^2) del 61.98 %, lo que indica que este modelo explica en ese porcentaje el contenido de humedad requerido por el suelo para alcanzar el límite plástico en la capa arable, en función de la variables que entraron al modelo como son: I_p , L_l , T , Da , H_u , P_p y E_c .

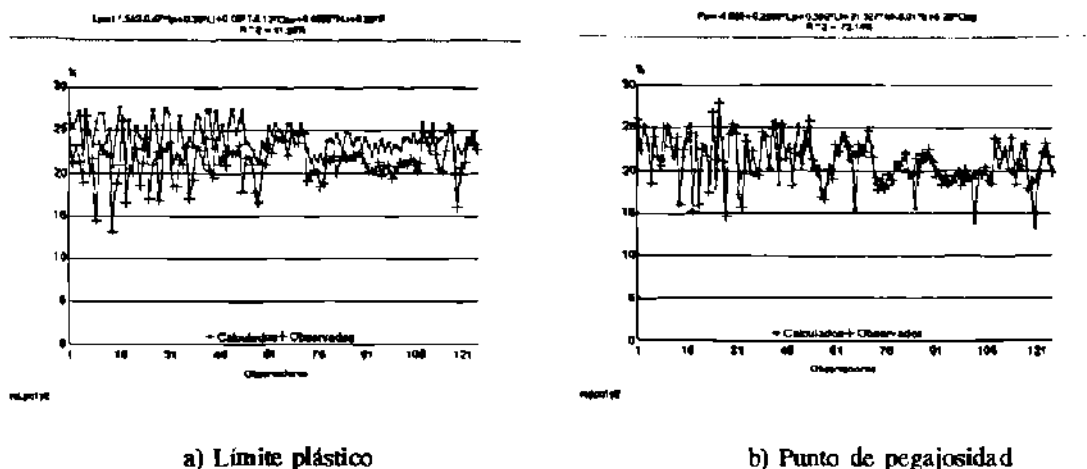


Figura 26. Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo.

Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional baja entre la variable dependiente e independientes, lo cual se aprecia en la Figura 26a, donde se puede observar la tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo. En el modelo seleccionado, las variables que más influencia tienen en la variación son, el punto de pegajosidad y el índice de plasticidad, ya que muestran significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) y explican en un 50.19 % la variación total que se tiene en este estrato (00-30 cm).

4.1.15.9. Punto de pegajosidad (P_p).

$$P_p = - 4.826 + 0.2969 * I_p + 0.592 * L_l + 31.927 * M_r - 0.01 * I_1 + 5.28 * D_a \quad (12)$$

En la Ecuación 12 se aprecia el modelo resultante para la variable P_p , el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) del 72.14 %, lo que indica que este modelo explica en ese porcentaje el contenido de humedad requerido para que el suelo empiece a adherirse a los metales, en función de la variables que entraron al modelo como son: L_p , L_l , M_r , I_1 y D_a . Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional relativamente baja entre la variable dependiente e independientes, lo cual se aprecia en la Figura 26b, donde se puede observar la

tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo. En el modelo seleccionado, las variables que más influencia tienen en la variación son el límite líquido y el índice de plasticidad, ya que muestra significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) y explican en un 68.35 % la variación total que en este estrato (00-30 cm).

4.1.15.10. Índice de cono (IC).

$$IC = 3068.97 - 4.8024*Ec + 27.81*If + 1444.306*\psi + 18.4*T - 59.673*Hu - 16.53*Eas \quad (13)$$

En la Ecuación 13 se aprecia el modelo resultante para la variable IC, el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) del 55.55 %, lo que indica que este modelo explica en ese porcentaje el índice de cono que se registra en la capa arable, en función de la variables que entraron al modelo como son: Ec, If, ψ , T, Hu y Eas. Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional baja entre la variable dependiente e independientes, lo cual se aprecia en la Figura 27a, donde se puede observar la tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo. En el modelo seleccionado, las variables que más influencia tienen en la variación son la humedad y la temperatura, ya que muestra significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) y explican en casi un 50% la variación total que se tiene en este estrato (00-30 cm).

4.1.15.11. Aeración (Ae).

$$Ae = 0.00042 - 0.0000367*Lp + 0.0000214*Mc + 0.999*P - 0.999*Hu + 0.0031*Dag \quad (14)$$

En la Ecuación 14 se aprecia el modelo resultante para la variable Ae, el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) del 100 %, lo que indica que este modelo explica en ese porcentaje capacidad de aeración que se registra en la capa arable, en función de la variables que entraron al modelo como son: Lp, Mc, P, Hu y Dag. Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional muy alta entre la variable dependiente e independientes, lo cual se aprecia en la Figura 27b, donde se puede observar la tendencia que se tienen entre los valores predichos por el modelo y los observados en campo. En el modelo seleccionado, la variable que más influencia tiene en la variación es la humedad y la porosidad, ya que muestran significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) y explican en un 100 % la variación total que

se tiene en este estrato (00-30 cm).

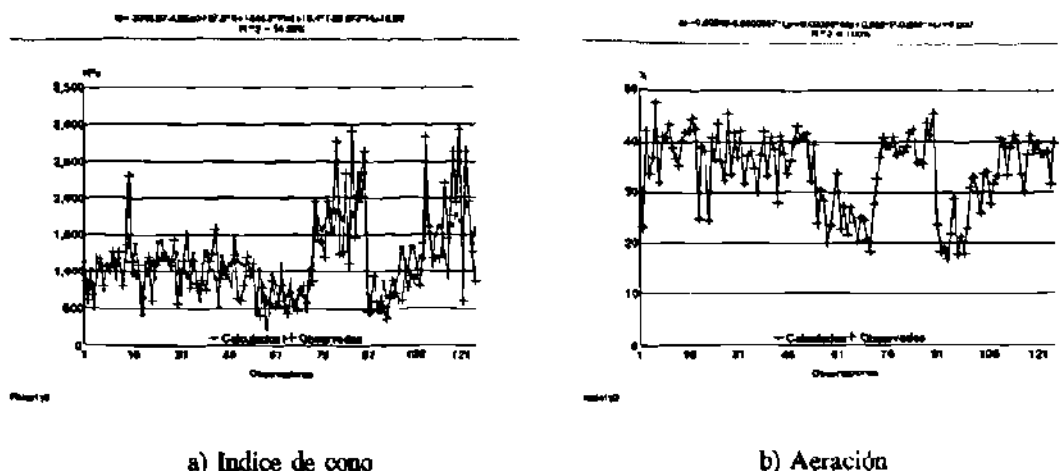


Figura 27. Comparación de los datos observados contra los predichos por el modelo.

4.1.15.12. Índice de plasticidad (Ip).

$$\begin{aligned}
 I_p = & - 8.761 + 0.394*L1 + 31.49*Mr + 0.208*P - 0.294*S \\
 & - 0.587*Lp + 0.0667*Eae
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

En la Ecuación 15 se aprecia el modelo resultante para la variable I_p , el cual presenta un coeficiente de determinación (R^2) del 54.33 %, lo que indica que este modelo explica en ese porcentaje el contenido de humedad, en los cuales el suelo es moldeable, en función de la variables que entraron al modelo como son: $L1$, Mr , P , S , Lp y Eae . Lo mostrado en el modelo indica una relación funcional baja entre la variable dependiente e independientes. En el modelo seleccionado las variables que más influencia tienen en la variación son el límite líquido, el límite plástico y la porosidad, ya que muestra significancia estadística al 99 % (Cuadro B4 del Apéndice B) y explican en un 42 % la variación total que se tiene en este estrato (00-30 cm).

Como puede verse en las ecuaciones anteriores, algunas de ellas fueron determinadas hace muchos años, y son utilizadas *cotidianamente*, como lo son la porosidad, aeración, la humedad y la densidad aparente; las otras, presentan una relación funcional con variables que registran cambios durante el ciclo, o variables cuya dinámica, esta en función de fuerzas externas que se apliquen al suelo, lo que permite hacer uso de estas ecuaciones para estimar el comportamiento de las propiedades físicas del suelo durante el ciclo agrícola en predios con registros del comportamiento de sus propiedades.

4.2. SEGUNDO EXPERIMENTO

4.2.1 Variables del suelo

4.2.1.1 Humedad (Hu).

Para los datos de inicio de ciclo OI 1995-1996 estadísticamente (Cuadro A14) los datos de humedad presentaron diferencia altamente significativa en las parcelas chicas (pasos de rastra) y en la profundidad. Considerando las profundidades en general, los porcentajes significativamente más bajos de humedad se registraron a los 00-15 cm y 15-30 cm con 23.28 % y 25.83 %, y el más alto en la profundidad 30-45 con 31.81 %. El porcentaje estadísticamente más alto de humedad para las parcelas chicas en general, lo registró el tratamiento con doble paso de rastra, con un promedio de 27.55 %, registrando sin diferencia significativa los tratamientos de cero pasos de rastra y un paso de rastra.

En el segundo mes los resultados del análisis de varianza (Cuadro A14), presentan diferencias altamente significativas para la interacción de las parcelas grandes con las chicas, y diferencia significativa para las parcelas grandes, las chicas y para la interacción de las parcelas grandes con los niveles de profundidad. Para la interacción de parcelas (Cuadro 28) los porcentajes de humedad significativamente más altos los registraron los tratamientos de arado de vertedera con dos pasos de rastra (AV2R), con un paso de rastra (AV1R) y el cero arado con un paso de rastra (CA1R); los más bajos correspondieron a los tratamientos de arado de discos cero pasos de rastra (AD0R) y dos pasos de rastra (AD2R).

Cuadro 28. Comparación de medias de humedad (%) para las interacciones de la parcela grande en el segundo mes del ciclo OI 1995-96.

Parcela grande (G)	Pasos de rastra (Ch)			Profundidad (cm)			
	0	1	2	00-15	15-30	30-45	45-60
A Discos	31.31	32.06	31.41	31.79	32.27	29.92	32.40
A Subsoleador	33.66	32.06	32.15	32.56	32.72	33.27	32.08
A Vertedera	32.02	34.65	35.29	31.69	33.87	35.22	35.15
C Arado	32.31	34.63	33.17	33.26	33.11	31.08	36.03

DMS Ch en G = 1.6324 DMS G en Ch = 1.6974 DMS P en G = 2.8411 DMS G en P = 2.6945

En la interacción de las parcelas grandes con las profundidades se puede observar en el

Cuadro 28 que no se registró diferencia significativa entre los tratamientos en las profundidades 00-15 cm y 15-30 cm, y 30-45 cm se presentaron los porcentajes más altos los de las parcelas de arados de vertedera y discos mientras que en la profundidad 45-60 cm se registraron los valores significativamente más altos de humedad en los de cero arado y arado de vertedera, y los tratamientos de los arados subsoleador y discos registraron los porcentajes más bajos. En la Figura 28a se puede observar cómo durante el segundo mes, el promedio de humedad para los tratamientos con cero arado fue más alto en la profundidad 00-30 cm (y en el promedio del perfil), concordando con Azooz *et al.* (1996); Phillips *et al.* (1980); y Radford *et al.* (1995), quienes encontraron que los sistemas de no-labranza incrementan en promedio el almacenamiento del agua en el suelo, teniendo mayores cantidades de agua almacenada al momento de la siembra, lo que se atribuyó a la retención de los residuos sobre la superficie del suelo y a los largos y continuos macroporos del suelo, con mayor movimiento de agua a través ellos que los de los sistemas con arados de cinceles o vertederas. Esto concuerda con los resultados obtenidos, ya que como se puede observar en la Figura 28b, los tratamientos sin arado tuvieron una mayor distribución de la humedad a lo largo del perfil del suelo.

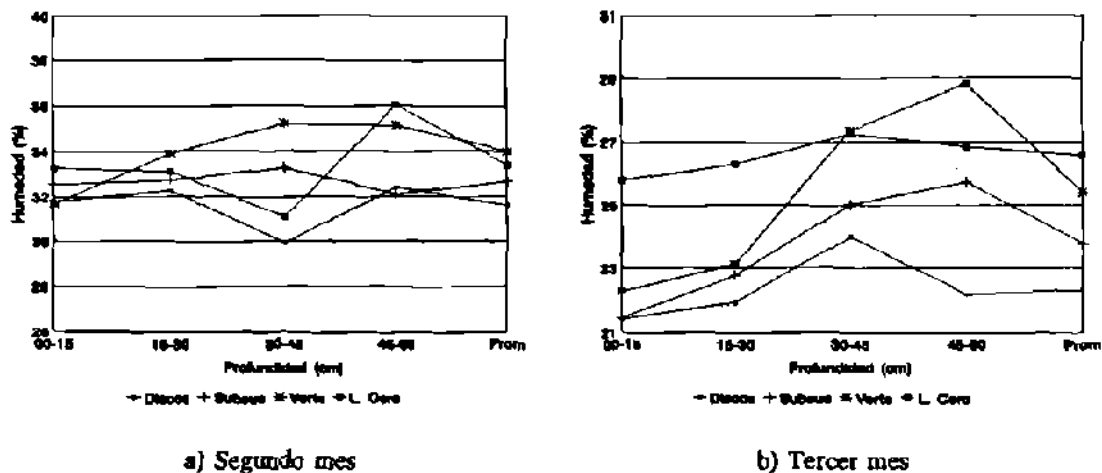


Figura 28. Comportamiento de la humedad en el perfil. Ciclo OI 1995-96.

En el tercer mes se presentó diferencia altamente significativa (Cuadro A14) entre parcelas grandes, destacando significativamente con los porcentajes más altos los tratamientos de labranza cero y arado de vertedera, y con el porcentaje estadísticamente más bajo el arado de discos. En la Figura 28b se puede ver el comportamiento de la humedad en el perfil durante el tercer mes y se observa un marcado incremento con la profundidad en todos los tratamientos, a excepción del de arado de discos, por lo que en promedio general para las profundidades, el

mayor porcentaje se registró a los 30-45 cm con 25.91 %, y en la profundidad 45-60 cm con 25.89 %, que son estadísticamente diferentes a la primera y segunda profundidad que registraron 22.68 % y 23.53 %, respectivamente.

En la misma figura se puede observar cómo los tratamientos con cero arado presentaron un comportamiento más estable en el perfil con los porcentajes más altos, y cómo los tratamientos de los implementos registran mayores porcentajes de humedad en los niveles inferiores, siendo nuevamente el arado de discos el más bajo y el arado de vertedera el más alto.

En el cuarto mes se registró diferencia altamente significativa entre los tratamientos de las parcelas grandes, para los cuales todos los tratamientos son estadísticamente mayores al de los arados de discos, ya que el mayor porcentaje se registró para el arado de vertedera con 30 %, el subsoleador 28.8 % y cero arado 28.68%, registrando el arado de discos un promedio de 26.7%.

En el quinto mes no hubo diferencia en ningún factor, por lo que todos fueron iguales estadísticamente.

4.2.1.2 Densidad Aparente (Da).

Los resultados del análisis estadístico para los datos de la densidad aparente (Cuadro A15) presentan para el primer mes diferencia altamente significativa para las parcelas chicas y para profundidades. El análisis de las medias de las parcelas chicas indica que estadísticamente el doble paso de rastra presentó la densidad aparente más alta con 1.369 gr/cm³ sin diferencia entre cero y un paso de rastra, y en la profundidad 30-45 cm se registraron estadísticamente las mayores densidades con 1.446 gr/cm³, y las más bajas se dieron en la capa 00-15 cm con 1.34 gr/cm³, y en la de 45-60 cm con 1.37 gr/cm³.

Los resultados del segundo mes no presentaron diferencia significativa para ninguno de los factores en estudio.

La densidad aparente del tercer mes presentó más variación que los anteriores, al registrar diferencia altamente significativa para las parcelas grandes, para las interacciones de las parcelas grandes con las chicas, y de las parcelas grandes con la profundidad y diferencia significativa para las profundidades. La interacción de las parcelas grandes (Cuadro 29) con cero pasos de rastra no se registraron tratamientos estadísticamente iguales, ya que la densidad aparente significativamente más alta la registró el tratamiento de arado de vertedera seguido del de cero arado, y el más bajo lo presentó el de arado subsoleador. En los tratamientos con uno y dos pasos de rastra, el de arado de discos registraron la densidad aparente estadísticamente más baja.

Cuadro 29. Comparación de medias de densidad aparente (gt/cm^3) para las interacciones de la parcela grande en el segundo mes del ciclo OI 1995-96.

Parcela grande (G)	Parcela chica (Ch)			Profundidad (cm)			
	0	1	2	00-15	15-30	30-45	45-60
A Discos	1.31	1.21	1.27	1.25	1.23	1.29	1.29
A Subsoleador	1.29	1.38	1.33	1.23	1.31	1.39	1.41
A Vertedera	1.45	1.37	1.36	1.30	1.33	1.45	1.46
C Arado	1.36	1.40	1.35	1.43	1.41	1.28	1.38

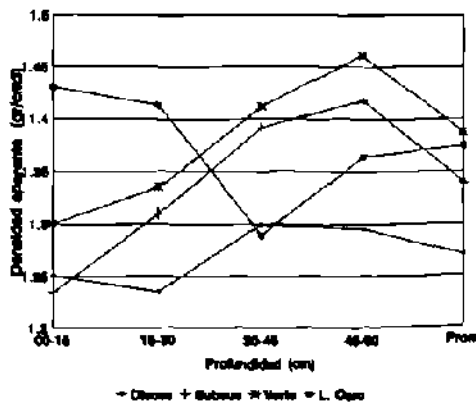
DMS Ch en G = 0.0580

DMS G en Ch = 0.04852

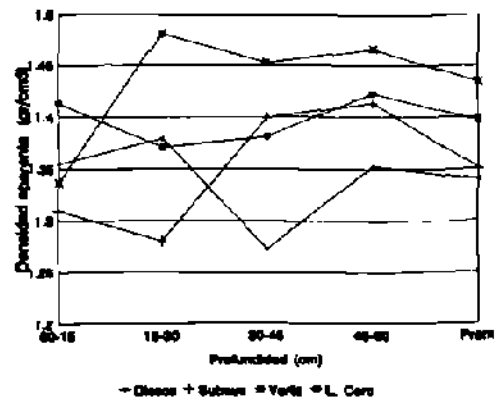
DMS P en G = 0.1080

DMS G en P = 0.0941

En la Figura 29 se presenta el comportamiento de la densidad aparente en el perfil, por implemento en parcela grande, y se puede observar cómo la densidad aparente para los tratamientos de cero arado registró estadísticamente los valores más altos en las profundidades 00-15 cm y 15-30 cm, y disminuye únicamente en la profundidad 30-45 cm. El arado de vertedera y el subsoleador por el contrario presentan un marcado incremento a lo largo del perfil, y los tratamientos correspondientes al arado de discos registraron un comportamiento más estable a lo largo del perfil, con valores estadísticamente bajos, en comparación con los demás tratamientos.



a) Tercer mes



b) Cuarto mes.

Figura 29 Densidad aparente en el perfil. Ciclo OI 1995-96

En el cuarto mes se tuvo diferencia significativa únicamente para la interacción de las parcelas grandes con las profundidades (Cuadro A15). En la Figura 29 se puede observar cómo en la profundidad 00-15 cm los tratamientos de cero arado y arado de discos registraron los valores estadísticamente más altos, y se mantuvo más estable a lo largo del perfil, en

comparación con los tratamientos del arado de vertedera, que únicamente en la profundidad 00-15 cm registraron valores significativamente bajos de densidad aparente, pero en el resto del perfil fue el más alto. El arado subsolador registró los valores más bajos en los primeros 30 cm de profundidad, pero después se incrementó hasta 1.39 gr/cm³ y 1.43 gr/cm³. Por el contrario, el arado de discos registró valores altos en la superficie, y descendió a los 30-45 y 45-60 cm de profundidad hasta los valores más bajos de todos en cada profundidad.

El último mes presentó diferencias significativas (Cuadro A15) en las parcelas grandes y en las interacciones de las mismas con las chicas, y de las parcelas chicas con las profundidades. Entre los tratamientos de la parcelas grandes destaca estadísticamente el arado de vertedera, que en la profundidad 00-15 cm registró la densidad significativamente más baja de los tratamientos (Figura 30); en la profundidad 15-30 cm registraron los valores significativamente más altos los tratamientos de cero arado, arado subsolador y de vertedera. En la profundidad 30-45 cm el arado de vertedera nuevamente registra estadísticamente el valor más alto, y el más bajo lo presentó el de arado de discos; la profundidad 45-60 cm no registró diferencia entre las parcelas grandes.

El tratamiento de doble paso de rastra registró la densidad más alta en todas las profundidades, aunque únicamente en la profundidad 00-15 cm fue significativamente más alta a todas las demás.

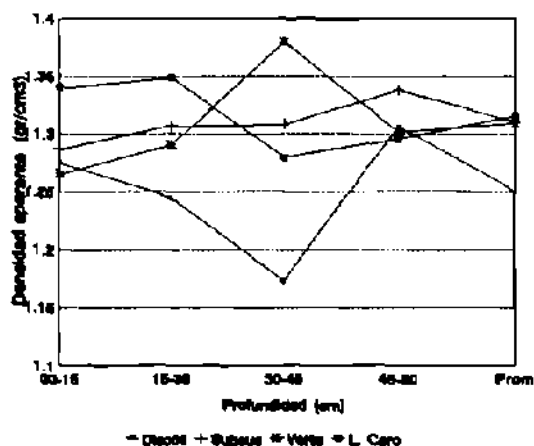


Figura 30. Comportamiento de la densidad aparente en el perfil por implemento en el quinto mes. Ciclo OI 1995-96.

El arado subsolador que fue el que presentó más estabilidad a lo largo del perfil en el ciclo, tuvo un ligero aumento con la profundidad, alcanzando los valores más altos en a los 45-60 cm, la cual corresponde a su profundidad de trabajo. Por su parte el arado de discos se mantuvo entre los valores más bajos en el perfil, siendo el único que registró disminución desde

la superficie hasta los 45 cm de profundidad, lo que contrasta con los otros arados, ya que los tratamientos del arado de discos registraron sus valores mínimos precisamente en la profundidad de trabajo donde inicia el resquebrajamiento que dejaron los discos.

4.2.1.3 Índice de cono (IC)

En general los valores más altos del índice de cono se registraron en las profundidades de 15-30 y 30-45 cm, marcándose un considerable incremento ante la falta de humedad en el tercero y quinto mes sin presentarse diferencia estadística entre los tratamientos dentro de los cuales destacaron los de cero arado al registrar prácticamente todo el ciclo los valores más altos con comportamiento similar al del arado de vertedera en el perfil, pero con mayores abatimientos. Por su parte los tratamientos del arado subsoleador registraron sus valores más altos en la profundidad de trabajo, pero en comparación con los demás tratamientos fueron los más bajos prácticamente todo el ciclo, ya que únicamente el último mes registró valores superiores a los demás.

Los datos del índice de cono presentaron diferencia altamente significativa para la profundidad todos los meses (Cuadro A16), y diferencia significativa para la interacción de las parcelas grandes con la profundidad en los primeros tres meses del ciclo, después de preparar el terreno y los primeros riegos.

Después de preparado el terreno y antes del primer riego los valores del índice de cono registraron diferencia significativa en las profundidades, donde en general estadísticamente la profundidad 30-45 cm (Cuadro 30) alcanzó el valor más alto y la 00-15 cm el más bajo; y las demás con valores intermedios sin diferencia significativa.

Cuadro 30. Comparación de medias de índice de cono (kPa) para las interacciones de la parcela grande en el segundo mes del ciclo O1 1995-96.

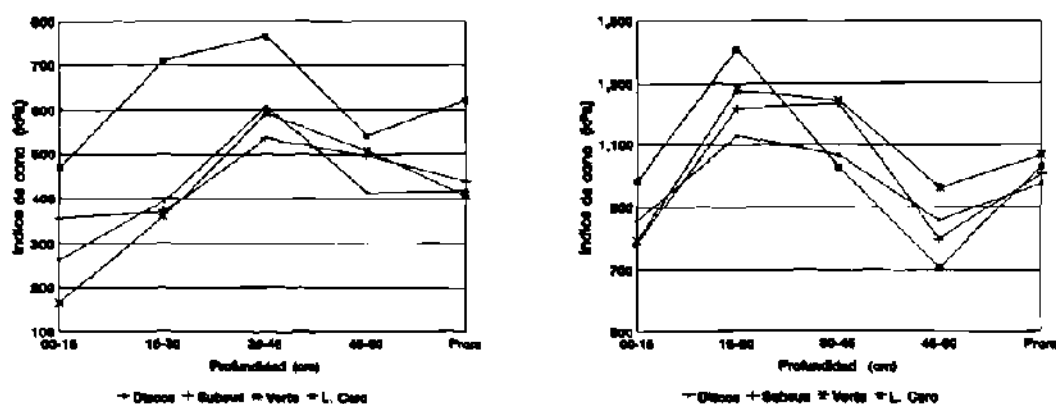
Parcela grande (G)	Profundidad (cm)			
	00-15	15-30	30-45	45-60
A Discos	263.33	393.05	607.06	413.04
A Subsoleador	355.42	370.67	534.55	496.95
A Vertedera	166.67	358.97	592.27	508.09
Cero Arado	469.15	711.36	765.97	542.75

DMS Prof en Gde =148.31

DMS Gde en Prof = 181.67

En el segundo mes destacó el tratamiento de cero arado (Cuadro 30) al presentar en todas las profundidades los valores estadísticamente más altos sin diferencia significativa en la profundidad 00-15 cm con el tratamiento de arado subsoleador y con el de discos en la profundidad 30-35 cm, ya que en los 40-60 cm no hubo diferencia significativa. En la Figura 31 se puede apreciar cómo todos los tratamientos presentan un franco aumento de la resistencia a la penetración con la profundidad en las primeras tres profundidades 00-15, 15-30 y 30-45 cm.

El tercer mes el cual corresponde a después del segundo riego se tuvo diferencia significativa en la interacción de la parcela grande con la chica; en base al número de pasos de rastra, los valores más bajos se presentaron en los tratamientos con dos pasos de rastra y los más altos en los de cero pasos de rastra. En cuanto al tipo de arado en promedio, el valor más alto fue el del tratamiento de arado de vertedera seguido de cero arado y arado subsoleador, presentando el índice de cono más bajo el de arado de discos. En general los tratamientos con los valores más altos correspondieron a los tratamientos de labranza cero (CA0R) y los de arado de discos con un paso de rastra (AD1R).



a) Segundo mes

b) Tercer mes.

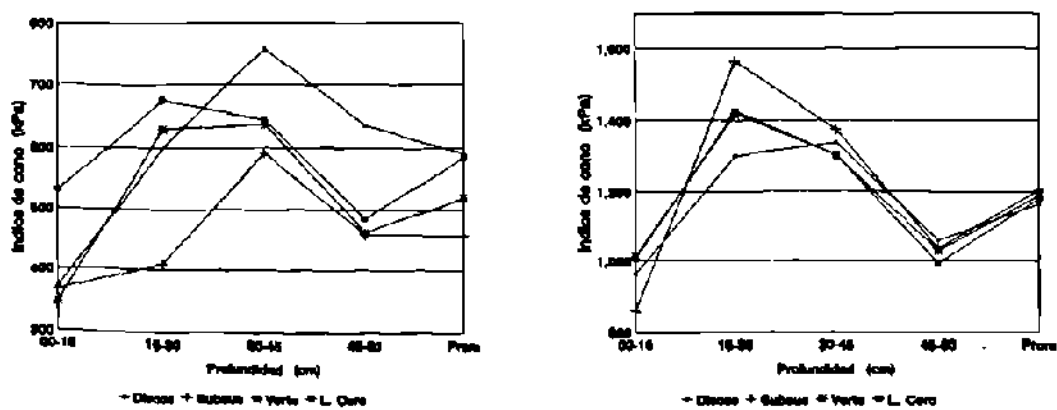
Figura 31. Índice de cono en el perfil ciclo OI 1995-96.

Para los tratamientos con cero pasos de rastra el valor significativamente más bajo lo presentó el de arado subsoleador (AS0R=920.87 kPa), y el más alto el de cero arado y los arados de discos (AD0R) y vertedera (AV0R) con 1,065.9 y 1,087.9 kPa, respectivamente, sin diferencia significativa entre ellos. Los tratamientos sin paso de implementos (CA0R=Labranza Cero) nuevamente registraron la mayor resistencia a la penetración con 1,192.14 kPa. De los tratamientos con un paso de rastra los valores estadísticamente más bajos los presentaron los tratamientos de arado de discos (AD1R), de los de cero pasos de arado (CA1R), los del subsoleador (AS1R), y los más altos correspondieron al arado de vertedera (AV1R), con 119.59 kPa. En los tratamientos con dos pasos de rastra, los resultados fueron muy parecidos a los de

un paso de rastra.

En el cuarto mes se presentó diferencia significativa para la interacción de las parcelas grandes con las profundidades, correspondiente a los tratamientos de la parcela grande y la profundidad pudiéndose ver en la Figura 32 el comportamiento de los tratamientos en el perfil y en promedio general el tratamiento de arado de discos, registró valores de resistencia a la penetración más bajos y los más altos los del arado de vertedera. Por profundidad en la 00-15 cm el índice de cono más alto lo registró el tratamiento de cero arado, arados de discos y subsoleador, en la profundidad 15-30 cm el valor significativamente más bajo lo presentó el de arado subsoleador, en la profundidad 30-45 cm no se presentó diferencia entre tratamientos y en la 45-60 cm los valores más altos los presentaron los tratamientos de labranza cero y arado de discos. la profundidad registró el promedio general de índice de cono más alto en la profundidad 30-45 cm.

En el quinto mes se presentó diferencia significativa para la interacción de las parcelas grandes con las profundidades, correspondiente a los tratamientos de la parcela grande y la profundidad. En promedio para las parcelas grandes, la menor resistencia a la penetración la presentaron los tratamientos del subsoleador con 456.83 kPa, seguido del arado de vertedera, con 519.1 kPa y de los tratamientos de cero arado con 584.19 kPa, registrando el promedio más alto el arado de discos con 591.1 kPa. Con respecto a la profundidad, la menor resistencia se registro en la primera profundidad 00-15 cm con 404.09 kPa, seguida de la profundidad 45-60 cm con 510.98 kPa y la segunda profundidad 15-30 cm con 577.97 kPa, registrándose la mayor resistencia a la penetración en la tercera profundidad 30-45 cm con 658.18 kPa.



(a) Cuarto mes

(b) Quinto mes

Figura 32. Índice de cono en el perfil ciclo IO 1995-96.

Los datos del quinto mes presentaron diferencia estadística entre profundidades, sobresaliendo con el índice de cono estadísticamente más alto las profundidades 15-30 cm y 30-

45 cm, y con los valores más bajos en los 00-15 cm y 45-60 cm.

4.2.1.4 Temperatura (T)

El análisis estadístico de los datos de la temperatura en el suelo (Cuadro A17) presentaron diferencia altamente significativa entre las profundidades en todos los meses, en los cuales las temperaturas más altas correspondieron a los tratamientos de cero arado sin rastra (CAOR, Labranza cero), seguidos de los tratamientos de los arados de vertedera (AVOR), aunque sin registrar diferencia entre los tratamientos, lo cual no concuerda con lo encontrado por Griffith *et al.* (1986) y Thomas (1986) al indicar éste último que los suelos con labranza reducida se calientan más lentamente que los de labranza tradicional y que rara vez alcanzan iguales temperaturas, ya que el suelo es más estable en la labranza reducida, a lo que Griffith *et al.* (1986) consideran que la magnitud de la reducción de la temperatura es específica del sitio, pero que en general se tienen temperaturas máximas más bajas en suelos bajo sistema de no-labranza.

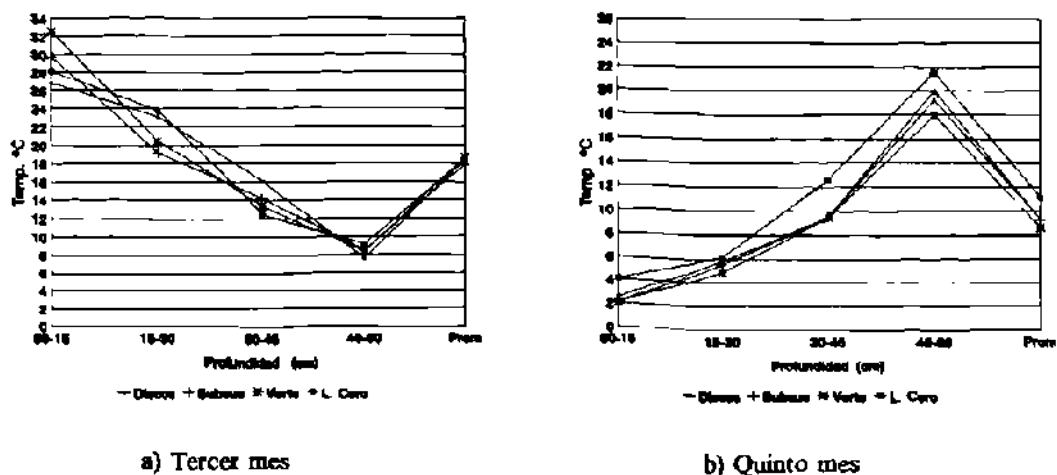


Figura 33. Temperatura del perfil por implemento ciclo OI 1995-96.

Asimismo, las temperaturas más altas se registraron en las capas superiores, en orden descendente, pero únicamente durante los cuatro primeros meses y en el último cuando la temperatura ambiente registró valores cercanos y bajo cero grados centígrados se invirtieron las temperaturas y fueron en orden ascendente como puede verse en las Figuras 33a y 33b.

4.2.1.5 Porosidad (P)

Los resultados del análisis estadístico para los datos de la porosidad del primer mes

(Cuadro A18) presentaron diferencia altamente significativa para las parcelas chicas y para las profundidades. En las parcelas los porcentajes significativamente más altos en porosidad los presentaron los tratamientos sin paso de rastra y con un paso de rastra, presentando los valores más bajos los del doble paso de rastra; por profundidad los porcentajes más altos del mismo se registraron en la profundidad 00-15 cm con 49.27 % y en la profundidad 45-60 cm con 48.07 %, registrándose los valores más bajos entre los 30 y los 45 cm de profundidad, con 45.52 %.

En el segundo mes, después del primer riego, no se presentan diferencias significativas en ninguno de los factores en estudio, y en el tercer mes los resultados presentaron diferencias altamente significativas para las parcelas grandes y la interacción de parcelas grandes con chicas, y significativa para las profundidades (Cuadro A18). Al comparar las medias de las parcelas grandes con las chicas, estadísticamente el tratamiento de arado de discos (AD0R) registró el porcentaje más alto de poros, seguido del de arado subsoleador para los tratamientos de cero rastra (AS0R); los porcentajes significativamente más altos los presentaron las parcelas de arado subsoleador y de discos, registrando la más baja las de arado de vertedera en las parcelas con un paso de rastra (AV1R).

La Figura 34 presenta los porcentajes de poros por profundidad y para cada combinación de implementos en el tercer mes, y se puede observar cómo destacan los tratamientos del arado de discos para casi todas las combinaciones, siendo superado únicamente por el subsoleador en el de cero rastra.

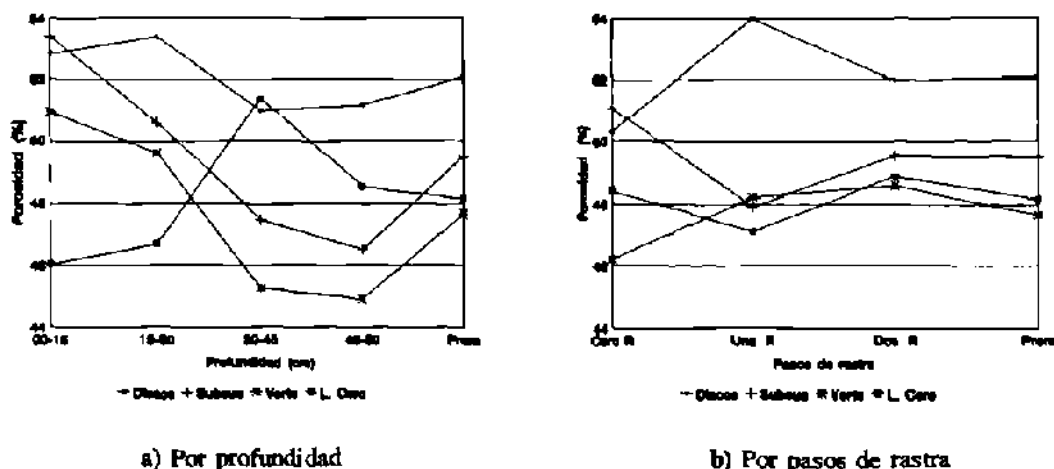


Figura 34. Porcentajes de porosidad por implemento en el tercer mes ciclo OI 1995-96.

El cuarto mes el análisis estadístico presentó diferencia significativa en la interacción de las parcelas grandes con la profundidad, no registrando diferencia significativa entre tratamientos en la profundidad 00-15 cm, y en la de 15-30 cm el tratamiento de arado de vertedera fue

significativamente diferente a los demás tratamientos al registrar la porosidad más baja; en la profundidad 30-45 cm el tratamiento de arado de discos fue significativamente más alta la porosidad y en la profundidad 45-60 cm con menos variación los tratamientos de arado subsoleador, cero arado y arado de vertedera fueron estadísticamente iguales al registrar el menor volumen de poros.

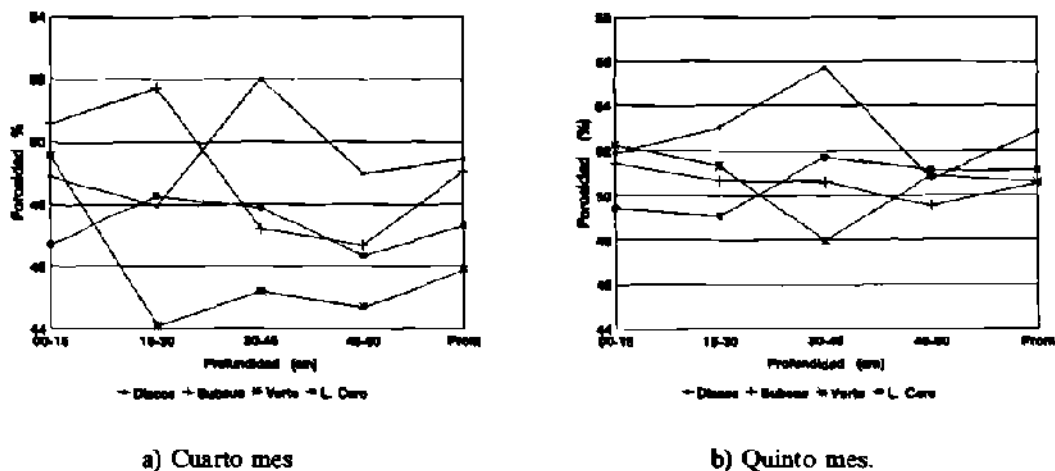


Figura 35. Porosidad del suelo por implemento en cada profundidad ciclo OI 1995-96.

En el Cuadro 31 se presentan las comparaciones de medias para las interacciones de las parcelas grandes en el quinto mes del ciclo OI 1995-96, y en él se puede ver cómo en todas sus combinaciones con pasos de rastra el tratamiento con arado de discos registró la porosidad más alta en el ciclo así como en el perfil aunque se tuvo menor variación, lo que originó que en la profundidad 15-30 cm el tratamiento con cero arado fuera significativamente diferente a los demás, y que en la de 30-45 lo fueran los tratamientos de arado de vertedera y subsoleador.

Cuadro 31. Comparación de medias de porosidad (%) para las interacciones de la parcela grande en el quinto mes del ciclo OI 1995-96.

Parcela grande (G)	Parcela chica (Ch)			Profundidad (cm)			
	0	1	2	00-15	15-30	30-45	45-60
A Discos	53.66	52.28	52.54	51.88	53.02	55.73	50.69
A Subsoleador	49.94	51.35	50.38	51.42	50.68	50.63	49.50
A Vertedera	50.19	52.02	49.66	52.25	51.39	47.94	50.88
C Arado	50.45	49.72	50.84	49.42	49.09	51.73	51.11

DMS Ch en G = 2.1099

DMS G en Ch = 2.0879

DMS p en G = 3.1680

DMS G en p = 3.0046

Como se puede ver en la Figura 35, el tratamiento del arado de discos es donde en promedio del perfil presentó los porcentajes más altos con 52.8 % siendo estadísticamente mayor que todos los demás tratamientos los cuales presentan muy poca variación entre sí.

4.2.1.6 Modulo de Ruptura (Mr)

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro A19) presentaron diferencia significativa entre las parcelas grandes, entre las parcelas chicas y en la interacción de ambas. En los tratamientos con cero paso de rastra el arado de discos (AD0R) registró estadísticamente la mayor resistencia a la ruptura (Cuadro 32), y los demás tratamientos no registraron diferencia entre ellos; para los tratamientos de un paso de rastra los valores más altos los registraron los tratamientos de los arados subsoleador y de discos, y en los de dos pasos de rastra el tratamiento de arado de discos (AD2R) también presentó la mayor resistencia a la ruptura.

Analizando el efecto de las interacciones (Figura 36), en las parcelas del arado de discos los valores más altos se registraron en las interacciones con doble paso de rastra (AD2R) seguida del de cero paso de rastra (AD0R), y el más bajo fue el de un paso de rastra (AD1R). Para el arado subsoleador, el valor más alto lo registraron las parcelas con un paso de rastra (AS1R) 0.0584 dinas/cm², seguido del doble paso de rastra (AS2R), y el valor más bajo lo registró con cero pasos de rastra (AS0R). En el arado de vertedera el comportamiento fue en el mismo orden que en el subsoleador, pero con valores ligeramente menores, y en parcelas con cero arado donde la variación fue muy poca, sus valores tuvieron un comportamiento inversamente proporcional al número de pasos de rastra. Considerando todas las interacciones, la mayor variación se presentó en los tratamiento del arado subsoleador y la menor en los de cero arado.

Cuadro 32. Comparación de medias del módulo de ruptura (dinas/cm²) para las interacciones de las parcelas ciclo OI 1995-96.

Parcela grande (G)	Parcela chica (Ch)		
	0	1	2
A Discos	0.0538	0.0477	0.0628
A Subsoleador	0.0393	0.0584	0.0440
A Vertedera	0.0387	0.0451	0.0438
Cero Arado	0.0327	0.0388	0.0390

DMS Ch en G = 0.0104

DMS G en Ch = 0.0132

En el efecto general de los implementos de labranza primaria, los tratamientos del arado de discos registraron valores estadísticamente más altos con $0.0548 \text{ dinas/cm}^2$, seguido del subsoleador y de vertedera con 0.0472 y $0.0405 \text{ dinas/cm}^2$, respectivamente, registrando los valores más bajos el tratamiento de cero arado 0.038 dinas/cm^2 , el cual presentó el comportamiento más estable al considerar la interacción de parcelas, siendo también los tratamientos donde se manifestó primeramente la germinación de las semillas los que más humedad registraron en la capa superior, y los que presentaron los valores de índice de cono relativamente más altos.

Los implementos que propiciaron un mayor desmenuzamiento del suelo presentaron mayor resistencia a la ruptura, destacando el arado de discos, con su acción de mezcla e inversión más el desmenuzamiento causado por el doble paso de rastra originaron la formación de costras más duras.

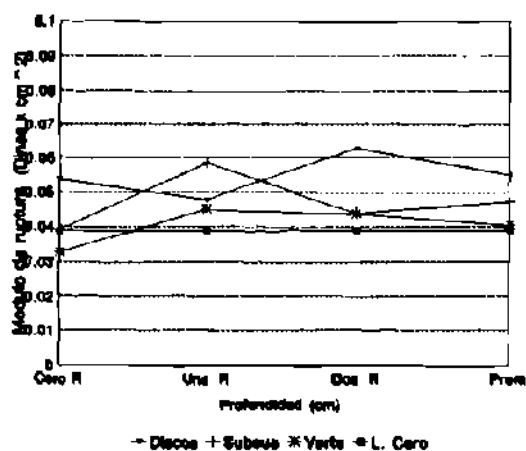


Figura 36. Módulo de ruptura para la interacción de las parcelas ciclo OI 1995-96

4.2.1.7. Módulo de contracción (Mc).

Estadísticamente todos los tratamientos son iguales, por lo que se concluye que los implementos de labranza no influyeron en la capacidad de contracción del suelo.

4.2.1.8. Consistencia.

4.2.1.8.1. Límite Líquido (LL).

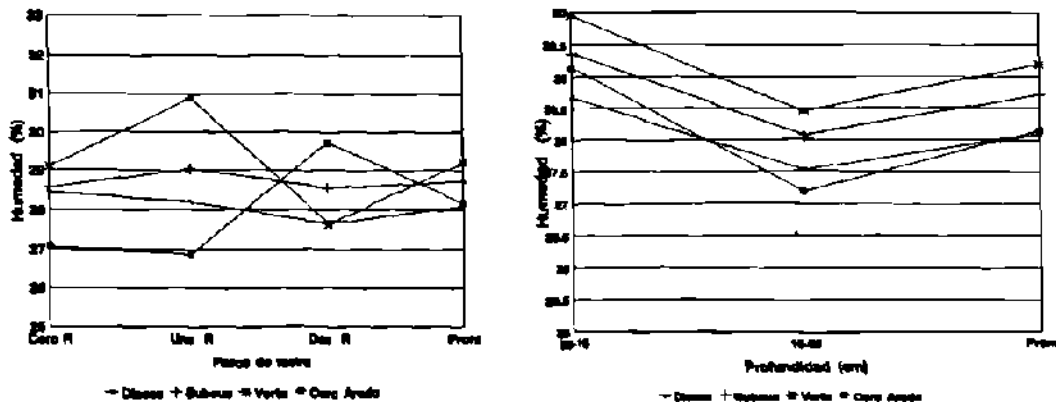
Los resultados del análisis estadístico del Cuadro A20 no presentaron diferencia por

efecto de la acción de los implementos.

4.2.1.8.2. Limite Plástico (Lp).

Los datos del límite plástico presentaron diferencia significativa para la interacción de las parcelas grandes con las chicas en función de la profundidad y significativa para la profundidad (Cuadro A20). En la interacción de las parcelas grandes en los tratamientos con cero pasos de rastra en la profundidad 00-15 cm (Figura 37a y 37b) el valor significativamente más alto lo registraron los tratamientos de arado de discos, subsoleador y cero arado, y en la profundidad 15-30 cm los de arados de vertedera, discos y subsoleador presentaron el límite líquido más alto; para las parcelas con un paso de rastra únicamente presentó diferencia con los demás tratamientos el de arado de vertedera en la profundidad 15-30 cm al registrar el valor más bajo, ya que los demás tratamientos permanecieron estadísticamente sin diferencia, y para las parcelas con dos pasos de rastra no se registró diferencia.

Como puede verse en la Figura 37b, el límite de plasticidad fue más alto en los primeros 15 cm de profundidad, marcándose más esta diferencia en los tratamientos con cero arado. En la profundidad de 00-15 cm por implemento de parcela grande (Figura 37b), los valores más altos los registraron los tratamientos del arado de vertedera, con 29.94 %, el subsoleador y el cero arado con 29.37 y 29.14 %, respectivamente, presentando el arado de discos los valores más bajos.



a) Con las parcelas chicas

b) Con la profundidad

Figura 37 Limite de plasticidad en las interacciones de las parcelas grandes ciclo OI 1995-96.

En la profundidad 15-30 cm nuevamente registraron los valores más altos los tratamientos de los arados de vertedera con 28.45 %, subsoleador y de discos con 28.06 y 27.51 % respectivamente, presentando los más bajos los tratamientos de cero arado con 27.17 %.

4.2.1.8.3. Punto de pegajosidad (Pp).

Los datos del punto de pegajosidad presentaron diferencia significativa en la interacción de las parcelas grandes con la chicas (Cuadro A21, no registrando diferencia entre las parcelas grandes al combinarse con cero pasos de rastra, y en los tratamientos con un paso de rastra el tratamiento de arado de vertedera presentó el punto de pegajosidad significativamente más alto. Al combinar la acción de los arados con el doble paso de rastra se registró poca variación entre tratamientos, presentando los porcentajes estadísticamente más altos los tratamientos de cero arado, arado subsoleador y de vertedera(Cuadro 33).

Cuadro 33. Comparación de medias del punto de pegajosidad (% Hu) ciclo OI 1995-96.

Parcela grande (G)	Parcela chica (Ch)		
	0	1	2
A Discos	24.61	22.75	21.15
A Subsoleador	22.99	23.80	24.53
A Vertedera	24.75	29.27	23.15
Cero Arado	22.00	24.51	25.75

DMS Ch en G = 3.5340 DMS G en Ch = 3.4823

En la Figura 38 se puede ver el comportamiento de los implementos de las parcelas grandes en su interacción con las chicas, destacando el comportamiento del arado de discos, donde presentó un marcado descenso conforme se aumentaron los pasos de rastra, y registro los valores promedios más bajos de los tratamientos (Cuadro 33). Por otro lado, los tratamientos de cero arado incrementaron su valor conforme se aumentaron los pasos de rastra, presentando el valor más alto de los tratamientos con doble paso de rastra. El tratamiento de arado subsoleador presentó un comportamiento más estable incrementándose también conforme se aumentaron los pasos de rastra, y el arado de vertedera registró la mayor variación en sus combinaciones sin que se observe un patrón definido, ya que en las interacciones con cero y un pasos de rastra registró los mayores valores, pero presentó un marcado descenso en el doble paso de rastra.

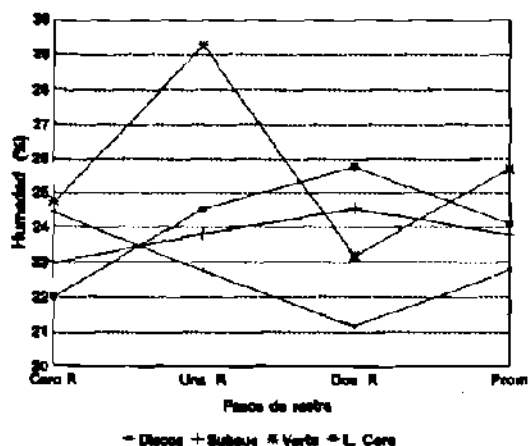


Figura 38. Punto de pegajosidad en la interacción de implementos ciclo OI 1995-96.

4.2.1.8.4. Índice de fluidez (If).

Los datos de índice de fluidez presentaron diferencia significativa para la interacción de las parcelas grandes con las chicas (Cuadro A21). Para los tratamientos con cero rastra el porcentaje estadísticamente más alto del índice de flujo lo registraron en la interacción con arado de vertedera y cero arado, quedando los arados de discos y subsoleador sin diferencia entre ellos. Para los tratamientos con un paso de rastra no se registró diferencia, y en los de dos pasos de rastra el porcentaje estadísticamente más alto se registró en la interacción con cero arado presentándose los demás tratamientos con valores más bajos sin diferencia entre ellos (Cuadro 34).

Cuadro 34. Comparación de medias del índice de fluidez (% Hu) ciclo OI 1995-96.

Parcela grande (G)	Parcela chica (Ch)		
	0	1	2
A Discos	43.77	43.80	41.09
A Subsoleador	40.46	43.53	43.43
A Vertedera	49.01	43.31	40.23
Cero Arado	52.88	43.79	50.29

DMS Ch en G = 5.6787 DMS G en Ch = 6.6151

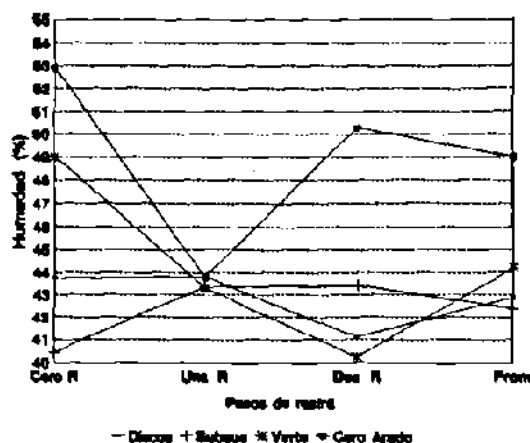


Figura 39. Índice de flujo para la interacción de las parcelas ciclo OI 1995-96.

En la Figura 39 se puede observar cómo en general los resultados de la interacción con un paso de rastra presentaron muy poca variación, y en los tratamientos de cero y dos pasos de rastra destacó el comportamiento de cero arado, que en promedio registró valores muy altos; los valores para el arado de vertedera disminuyeron conforme aumentó el número de pasos de rastra, el arado de discos tendió a disminuir, pero en menor proporción y, por el contrario, el subsoleador presentó valores tendientes a incrementarse conforme aumentaron el número de pasos de rastra.

4.2.2. Resultados en el cultivo.

4.2.2.1. Cosecha.

Los resultados de la cosecha de avena forrajera, tanto en húmedo como en seco, no reportan diferencia estadística entre los tratamientos (Cuadro A22), lo cual coincide con lo reportado por Osuna y Ventura (1991) y Del Canto (1996); este último indica que no hay diferencia significativa en los rendimientos de trigo, avena y raps (colza) cualquiera que sea el sistema de labranza utilizado (cero o tradicional), pero no concuerda con lo reportado por Radford *et al.* (1995) y Coolman and Hoyt (1993), quienes reportan mejor producción con sistemas de no-labranza y labranza reducida al compararla con la tradicional, debido al aumento de la eficiencia en el almacenamiento y/o aumento en la eficiencia del uso del agua por el cultivo.

En las interacciones de implementos (Figura 40), la producción más alta la registró el tratamiento del arado de discos y cero pasos de rastra (AD0R), con 62,591.32 kg/ha y la más baja los tratamientos con cero arado y dos pasos de rastra (AD2R), con una producción promedio de 43,583.41 kg/ha. Las producciones más altas fueron las del arado de discos en todas sus combinaciones. El comportamiento de la cosecha en seco fue semejante a la de húmedo.

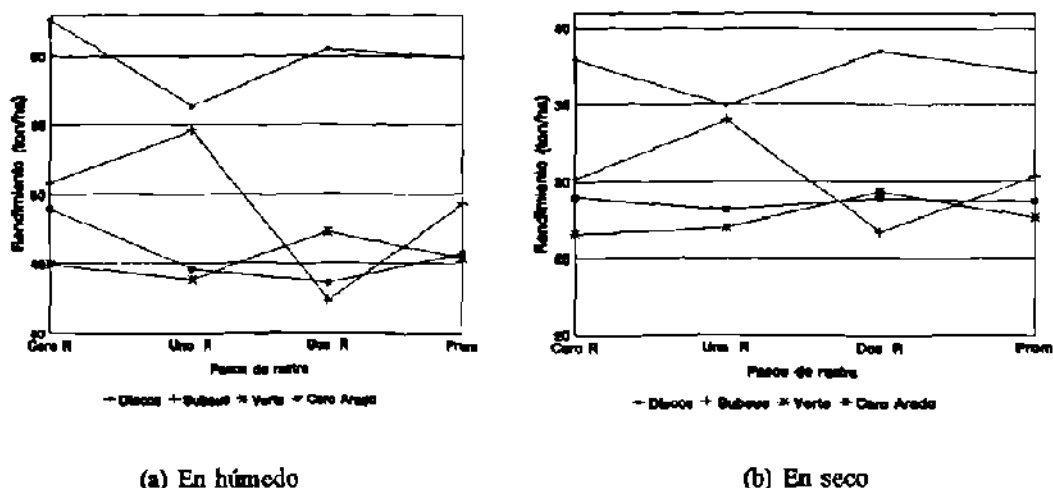


Figura 40. Cosecha de avena forrajera ciclo OI 1995-96.

4.2.2.2. Longitud de raíz.

El análisis estadístico indicó que los datos de longitud de raíz presentaron diferencia altamente significativa entre tratamientos y significativa en la interacción de las parcelas (Cuadro A22). La comparación de medias para la longitud de la raíz indica que todos los tratamientos son superiores a los de cero arado, donde el desarrollo de la raíz fue marcadamente menor, lo que se atribuye a la compactación del suelo. En el Cuadro 35 (Figura 41a) se muestra la comparación de medias para los pasos de rastra con cada parcela grande; estos resultados concuerdan con los presentados por Dale (1982), quien indica que la recompactación de los suelos ocurre utilizando sistemas de no-labranza o labranza con arado de vertedera, pero con no-labranza se tiene como resultado un 50 % menos de zona potencialmente radicular que con el arado de vertedera; sin embargo Chancellor (1977) indica que valores de los índice de cono mayores de 2,000 kPa (≈ 200 psi) frecuentemente reducen el desarrollo de las raíces, y que el subsoleador reduce la compactación en los surcos, en una área de siete cm a cada lado del surco sin afectar de forma severa la compactación existente en el resto de la cama de siembra.

Cuadro 35. Comparación de medias de longitud de raíz (Lr) en las parcelas chicas dentro de cada parcela grande ciclo OI 1995-96.

Tratamiento Parcela grande	Pasos de Rastra		
	Cero Lr (cm)	Uno Lr (cm)	Dos Lr (cm)
A Discos	12.91	10.83	11.33
A Subsoleador	10.83	10.50	11.33
A Vertedera	10.33	10.50	9.53
Cero Arado	6.08	6.25	9.16

DMS = 1.9633

4.2.2.3. Diámetro del tallo.

Los datos del diámetro de tallo presentaron diferencia significativa para las parcelas chicas (Cuadro A22), de las cuales las plantas correspondientes a los tratamientos con cero y un paso de rastra registraron los diámetros estadísticamente más gruesos que los del tratamiento con doble paso de rastra. La Figura 41b presenta la comparación del diámetro de tallo para cada combinación de implementos, pudiéndose observar cómo destaca el tratamiento con cero arado al presentar una tendencia a disminuir el diámetro conforme aumentó el número de pasos de rastra, y cómo los diámetros más bajos se registraron en todos los tratamientos en los que se dio doble paso de rastra.

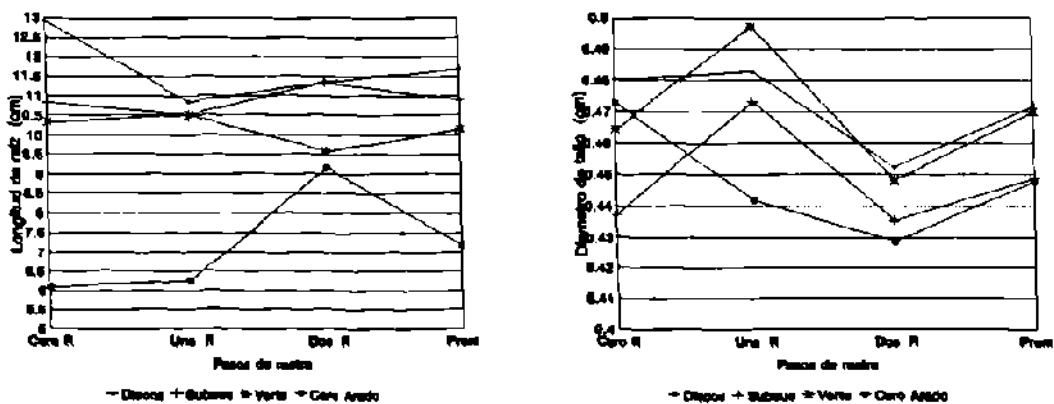


Figura 41 (a) Longitud de raíz y (b) Diámetro de tallo ciclo OI 1995-96.

En todas las demás variables que se estudiaron como son; número de hijuelos, ancho de hoja y longitud de hojas, no se presentaron diferencias significativas.

5. CONCLUSIONES

- La adecuada aplicación de los implementos de labranza primaria de corte e inversión de terreno, propiciaron las mejores condiciones de: porosidad, transmisión hidráulica, resistencia a la penetración y densidad aparente, sin presentar diferencia estadística con la labranza cero (a excepción del índice de cono).

- Los implementos de roturación, al no propiciar la mezcla o inversión del terreno, propiciaron las temperaturas más altas y porcentajes de porosidad del suelo más bajos, tendiendo a permanecer (disminuir) las propiedades hidráulicas del suelo, destacando el arado de cinceles,.

- Después de los riegos, los tratamientos de los implementos de roturación incrementaron el valor de la distribución de los agregados (DPM), y por el contrario los demás tratamientos presentaron una disminución, siendo los más estables los correspondientes al arado de vertedera, y los tratamientos del arado de discos registraron los valores más bajos de los tratamientos después de los riegos.

- Los tratamientos de los arados de vertedera, discos, y la rastra de discos, mejoraron estadísticamente la capacidad del suelo para absorber agua por capilaridad y los implementos de roturación la disminuyeron.

- Se establecieron las relaciones funcionales entre las propiedades físicas del suelo Xerosol háplico alterado por la acción de los implementos de labranza.

- El tratamiento de la labranza cero presentó menor variación en el comportamiento de la porosidad durante el ciclo presentando una buena capacidad de conducción del agua manteniendo condiciones intermedias entre los tratamientos de implementos de cobertura y los de roturación.

- Los tratamientos sin paso de arado, mantuvieron altos porcentajes de humedad en el perfil del suelo durante el ciclo con cultivo, pero ante el retardo en los riegos presentaron el mayor abatimiento de humedad. A su vez presentaron menos variación en la distribución de la humedad mientras no faltó agua.

- Dando los riegos oportunamente el sistema de labranza mediante arado de discos sin paso de rastra registró los menores porcentajes de humedad en el perfil del suelo durante el ciclo, sin afectar el cultivo, y al retrasar el riego mantuvo la mejor condición de humedad en el suelo,

permitiendo el espaciamiento entre los riegos, hasta de ocho días.

-En el comportamiento de la humedad los tratamientos con un paso de rastra registraron la mejor interacción con los implementos de labranza primaria.

- Los tratamientos de cero arado, registraron valores de índice de cono y densidad aparente altos, así como un mayor abatimiento de la humedad, semejante al comportamiento de los tratamientos de arado de vertedera, pero sus valores fueron más altos en la superficie y más bajos hacia el fondo del perfil.

- Las temperaturas más altas correspondieron a los tratamientos de cero arado sin pasos de rastra (labranza cero) seguidos de los tratamientos de los arados de vertedera y las más bajas en promedio del perfil al tratamiento del arado subsoleador, pero de los 30 a los 60 cm de profundidad, es el arado de discos quien registro las temperaturas más bajas.

- Los sistemas de labranza con implementos de corte e inversión del suelo presentaron mayor resistencia del suelo a la ruptura, destacando el arado de discos, que con el doble paso de rastra originó la formación de costras más duras.

- La producción de avena forrajera en un suelo Xerosol háplico no fue afectada estadísticamente por la acción de los implementos, registrando el tratamiento del arado de discos los promedios más altos de forraje y la labranza cero los más bajos.

- El retraso en el riego originó una marcada influencia en el desarrollo del cultivo establecido mediante labranza cero, al registrar un rápido abatimiento de la humedad.

- La labranza cero, presenta una buena opción para la producción en un suelo Xerosol háplico, tanto desde el punto de vista ecológico, agronómico y económico, al proporcionar mejores temperaturas en la capa arable y mantener buen contenido de humedad para la germinación de la semilla, siempre y cuando no se descuiden las fechas de riego, ya que facilita el abatimiento de humedad y aumenta la resistencia a la penetración.

- El sistema de labranza reducida mediante el paso de arado de discos, presenta una buena alternativa agronómica para la preparación del suelo Xerosol háplico, al presentar buenas condiciones para la germinación y el desarrollo del cultivo y disminuir el consumo energético sin reducir la producción en comparación con la labranza tradicional de la región.

6. LITERATURA CITADA

- Alberts, E.E., J.M. Laflen., W.J. Rawls., J.R. Simantron and M.A. Nearing. 1989. Soil Component. National Soil Erosion Research Laboratory USDA-ARS Report N° 2 pp6.1-6.15.
- Anderson, S.H., R.L. Peyton., C.J. Gantzer. 1990. Evaluación of constructed and natural soil macropores using X-ray por tomografía computarizada. *Geoderma* 46:13-29.
- ASAE Standars 1993. Soil cone penetrometer S313.2 p657.
- ASAE Monograph Number 12 1994. AVANCES IN SOIL DINAMICS Vol. I American Society of Agricultural Engineers. 313p.
- Ayers, P.D., and J.V. Perumpral. 1982. Moisture and Density Effect on Cone Index. *Transaction ASAE* 1169-1172.
- Azooz R.H, M.A, Arshad and A.J. Franzluebbbers. 1996. Pore Size Distribution and Hydraulic Conductivity Affected by Tillage in Northwestern Canada. *Soil Sic Soc. Am. J.* 60:1197-1201.
- Bauder, J.W., G.W. Randall, and R.T. Schuler. 1985. Effects of tillage with controled wheel traffic on soil properties and root growth of corn. *Journal of Soil and Water Conservation.* 382-386.
- Baver, L.D., Gardner, W.H. Y Gardener, W.R. 1973. Física de Suelos. Trad. de la 1ª y 4ª ed. inglesa por J.M. Rodriguez. México, D.F., UTEHA 529 p.
- Baver, L.D., W. H. Gardner y W.R. Gardner. 1980. Física de suelos traducido al español. Uthea, Méx.D.F. 529p.
- Benites, J. R. 1992. Manual de Sistemas de Labranza para América Latina. Boletín de Suelos FAO 66.
- Benjamin, J.G. 1993. Tillage effect on near-surface Soil hydraulic properties. *Soil & Tillage Research.* 26:277-288.
- Blank, R.R., M.A. Fosberg. 1989. Cultivated and adjacent virgin soils in northcentral south Dakota: II. Mineraligical and micromorphological comparsions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1490-1499.
- Blevins R.L., G.W. Thomas, M.S. Smith., W.W. Frye, and P.L. Cornelius. 1983. Changes in soil properties after 10 years continuos non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil tillage. res.* 3:135-146.
- Braunack, M.V., J.E. McPhee and D.J. Reid. 1995. Controlled traffic to inzease productivity of irrigated row crops in the semi-arid tropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture.* 35; 503-513

- Bulloc, P., N. Fedoroff., A. Jongerius., G. Stoops., T. Tursina. 1985. *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Public., England, 152p.
- Bustamante, B.I. 1976. *Influencia de diversos métodos de labranza, sobre el rendimiento de dos variedades de alfalfa y la alteración del medio físico del suelo*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgrado Chapingo, Méx.
- Bustillos D.S. 1987. *Evaluación de los efectos de la labranza sobre dos suelos de México*. Tesis Ingeniero Agrónomo en Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo.
- Campos, S. 1996. *Evaluación de la labranza de conservación y la tradicional en la producción de soya y sorgo y su influencia en la aparición de enfermedades, maleza y condiciones físicas del suelo*. Tesis Doctoral. ITESM. Monterrey, N.L.
- Carter, M.R. 1988. *Physical properties of some Prince Edward Island soils in relation to their tillage requirement and suitability for direct drilling*. J. Soil Sci. 67:473-487.
- Carter, R.M., and B.C. Ball. 1993. *Soil Sampling and Methods of Analysis: Soil Physical Analysis*. Canadian Society of Soil Science. p 581-589.
- Catalan V.E.A. 1992. *Medición de la Sorbilidad del suelo y su uso*. Seminarios Técnicos INIFAP. CENID-RSAPA. Vol.9 N°13:210-223.
- Chapa, G.J.R. 1987. *Dinámica del sistema estructural de un Andosol molico de Estado de Michoacan bajo tres sistemas de laboreo*. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. 226p.
- Chancellor, W.J., 1977. *Compaction of soil*. University of California, Division of Agricultural Sciences. p5-40.
- Chancellor, W.J., 1981. *Compaction of soil by agricultural equipment*. University of California, Division of Agricultural Sciences. Bulletin. p1-53
- Chávez, N., J.L. Tovar, C.A. Ortiz and A. Martínez. 1994. *Effect of the application of external forces to soil on some of its physical and dynamic properties*. 15th World Congress of Soil Science Vol. 2b:248-249.
- Crosson, Pirre. 1980. *Conservation tillage. An assessment*
- Coolman, R.M. and G.D. Hoyt. 1993. *The Effects of Reduced Tillage on the Soil Environment*. Hort Technology. 3(2):143-145.
- Cooper, A.W., and W.R. Gill. 1966. *Characterization of soil related to compaction*. Grundforbating Agr. Sweden. 19:77-80
- Cox, W.J., Zobel, R.W., Van, H.M. Es, y D.J. Otis 1990. *Tillage effects on some physical and com physiological characteristics*. Agron J:82:806-812.
- Dale, T.E. 1982. *Residual Tillage Effects as Determined by Cone Index*. Transaction of the ASAE. 859-863.

- Deere Co. 1976. Serie "Fundamentos de funcionamiento de maquinaria". Cultivo. Deere & Company, Moline, Illinois. 368p.
- Del Canto, S.P. (1996). Cero labranza en Andosoles de la zona centro-sur de Chile. 4º Foro Internacional de Labranza de Conservación. s/np.
- Detenal 1979. Descripción de la leyenda de la carta edafologica DETENAL México. pp 91-94.
- Dickey, E.C. J.C. Siemens, P.J. Jasa, V.L. Hofman, D.P. Shelton. 1992. Tillage system definitions. Conservation tillage systems and management. MidWest Plan Service. Agricultural and Biosystems Engineering Department. Iowa State University.
- Drees, L.R., A.D. Karathanasis., L.P. Wilding and R.L. Blevins 1994. Micromorphological characteristics on long-term no till and conventionally tilled soil. Soil Sci. Soc. Am. *J.* 58:508-517.
- Durlap, W.H. and J.A. Weber. 1971. Compaction of an unsaturated soil under a general state of stress. Transaction. ASAE. 14:601-611.
- FAO 1992. Manual de sistemas de labranza para América latina. Boletín de suelos FAO 66 4:1-8
- Forsythe. W. 1975. Manual de laboratorio de física de suelos. Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. p38-45.
- Forsythe. W. M. y A. Huertas,. 1979. Effect of soil penetration resistance on the growth and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) 27-R variety. Turrialba (Costa Rica) 29(4):293-298.
- Francis, G.S. and T.L. Knight, 1993. Long-term effects of conventional and no-tillage on selected soil properties and crop yields in Canterbury, New Zealand. Soil & Tillage Research, V:26 p193-210.
- García E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Publicaciones UNAM. México, D.F.
- Gavande, S.A. 1973. Física de Suelos: principios y aplicaciones Limusa. Willey, S.A. Méx. D.F.
- Gregorich, E.G., W.D. Reynolds., J.L.B. Culley., M.A. McGovern., W.E. Curnoe, 1993. Changes in soil physical properties with depth in a conventionally tilled soil after no-tillage Soil & Tillage Research, 26:289-299.
- Griffith, D.R., and C.B. Richey. 1977. Energy requirements and areas of adaptation for tillage-planting system for corn. In William Lockeretz. Agriculture and energy. Academic press, New York.
- Griffith, D.R., J.J. Mannering and J.E. Box. 1986. Soil and Moisture Management with Reduced Tillage. No Tillage and Surface-Tillage Agriculture. Wiley, New York. P19-55.
- Hayes, Denis. 1976. Energy. The case for the conservation. Worldwatch Paper 4. Worldwatch Institute, Washington, D.C.

- Jimenez, G. 1996. Experiencias de la alianza nacional para la agricultura sustentable. Memorias del 4^o Foro Internacional de Labranza de Conservación.
- Karawasta, S. P. S. 1991. Socioeconomic considerations in tillage. Proc. 12th Conference of ISTRO "Soil tillage in Agricultural Sustainability". Ibadan, Nigery. pp.536-545.
- Kaurichev, I.S., N.P. Panov., M.V. Sratonóvich, I.P. Grechin., V.I. Sávich., N.F. Ganzhara y A.P. Mershín. 1984. Practicas de edafología. Editorial MIR MOSCU p101-102. 280pp
- Kay, B.D., 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. Adv. Soil Sci., 12:1-52.
- Kayombo, B., and R. Lal 1993. Tillage systems and soil compaction in Africa. Soil & Tillage Research. 27:35-72.
- Keenner, K.M., R.K. Wood, R.G. Holmes and M.T. Morgan. 1991. Soil strength evaluation of sample cores in a field measurement system. ASAE Paper 91-1526 St. Joseph, Mich.
- Kumar, L. and A. Weber. 1974. Compaction of unsaturated soil by different stress paths. Transaction. ASAE. 17:1064-1072.
- Larson, W.E. and G.J. Osborne 1982. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. ASA Special Publication 44:1-3.
- Lal R. 1985. Mechanized tillage systems effects on properties of a tropical Alfisol in watershed cropped to maize. Soil & Tillage Research. 6:149-161.
- Lal, R., D.J. Eckert, N.R. Fausey and W.M. Edwards. 1990. Conservation tillage in sustainable agriculture. Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa. pp. 203-225.
- Lindstrom, J.J., S.C. Gupta, C.A. Onstad, W.E. Larson, and R.F. Holt. 1979. Tillage and crop residue effects on soil erosion in the Corn Belt. Agron. J. 62:229-232.
- Luttrell, D.H., Bockhop, C.W., and Lovely, W.G. 1977. The effect of tillage operations on soil physical conditions. ASAE 64:103p
- Luxmoore, R.J., Jardine, P.M., Willson, G.V., Jones, J.R., and Zelazny, L.W. 1990. Physical and chemical controls of preferred path flow through a forested hillslope. Geoderma 46:139-154.
- Mannering, J.V.; Fenster, C.R. 1983. What is conservation tillage. J. Soil and Water Conservation 38:141-143
- Martínez R.C.,E. y J.F. Pissani, Z. 1994. Equipo para determinar la estabilidad de los agregados del suelo, "DEAS". IV Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola. p B1.
- Martínez R.C.,E. y J.F. Pissani, Z. 1995. Efecto de la intensidad de labranza en el consumo energético. VI Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Agropecuario. DGETA. p25

- Martínez R.C., E. y J.F. Pissani, Z. 1996. "Medidor de flujo" un equipo para cuantificar el gasto de combustible durante la labranza. VII Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario. DGETA. p62
- Mata, G.B. 1967. Preparación del terreno contra no preparación del terreno en maíz de temporal. Tesis Profesional. E.N.A. Chapingo, Méx.
- Narro, F.E. 1987. Física de Suelos con Enfoque Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Dpto de Suelos.
- Oleschko, K. 1989. Evaluación de la eficiencia de la labranza a través de la dinámica de las propiedades físicas del suelo. SMCS. TERRA. 7(2):100-108.
- Olivares S. E., 1994. Paquete de diseños experimentales FAUANL Ver-2.5 Facultad de Agronomía UANL. Marín, N.L.
- Onstad, C.A., Otterby, M.A. 1979. Estimating the Effects of Cropping, Tillage and Erosion Control Practices over Large Areas. Transaction of ASAE. 111-115p.
- Osuna C.E.; Ventura, R.E. 1991. Estudio de la Labranza y su efecto en la estructura del suelo y la producción de Maíz en el llano Ags. Memorias del XXIV Congreso Nacional de La Ciencia del Suelo. Pachuca, Hidalgo, México. p36.
- Phillips, R.E., R.L. Blevins, G.W. Thomas, W.W. Frye, and H. Phillips. 1980. No-tillage agriculture. Science 208:1108-1113.
- Phillips, R.E and S.H. Phillips 1984. No tillage agriculture. Van Reinhold Co., New York. p25-32
- Pissani, Z.J.F. 1993. Método del pozo barrenado, invertido. folleto. Depto. de Ing. Agrícola. Fac de Agronomía U.A.N.L. Marín, N.L. 7p.
- Pla I. 1989. Desarrollo de índices y modelos para el diagnóstico y prevención de la degradación de suelos agrícolas en Venezuela. Publ. Esp. Blanco consolidado, Caracas. 58p.
- Pla Sentis y J.L. Russo 1992. Manual de Sistemas de Labranza para América Latina. Boletín de Suelos FAO 66. Capítulo 4; p12
- Radford B.J., A.J. Key, L.N. Robertson and G.A. Thomas. 1995. Conservation tillage increases soil water storage, soil animal populations, grain yield and response to fertilizer in the semi-arid subtropics. Australian Journal of Experimental Agriculture. 35:223-232.
- Ramírez, C. J. 1976. Características generales de las series de suelos de suelos en la Región Lagunera Coahuila y Durango. SRH Distrito de Riego 17. pp 2-6.
- Reeder, R.C. 1992. Making the transition to conservation tillage. Conservation tillage systems and management. MidWest Plan Service. Agricultural and Biosystems Engineering Department. Iowa State University.

- Russel, E. 1955. Condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas, Moscú, Editorial "Literatura Extranjera"
- SARH. 1992. Estadísticas de la producción agropecuaria y forestal 1991. Cd. Lerdo, Dgo., México. 221 p.
- Shafer, R.L., C.E. Johnson., A.J. Koolen., S.C. Gupta., R. Horn. 1992. Future Research Needs In Soil Compaction. Transaction of the ASAE. 35(6):1761-1770.
- Silva, M. C. 1978. Unidades del suelo interpretadas para su uso en Ingeniería Civil y aprovechadas por el campesino en usos agropecuarios. CECSA, México. p 29.
- Sing, G., Singh, D. 1986. Optimum energy model for Tillage. Soil & Tillage Research.No. 6:235-245
- Smart, J.R., and J.M. Bradford. 1996. Conservation Tillage for a semi-arid Subtropical Environment. United States Department of Agriculture Research Service. Wslaco, Texas 78596. VI Congreso Internacional de AMIA.
- Söhne, W.H. 1958. Fundamentos de la distribución de presión y la compactación del suelo bajo las llantas del tractor. Agricultural Engineering 39(5):276-281, 290.
- Solé-Benet, A., Vila-Mitja, M.A. 1991. La micromorfología de suelos aplicada a la Arqueología; Estudio de dos casos. Cingle Vermell y Mediona I. Xàbiga, 1990, Nº 6 pp 31-42
- Sprague, M.A and G.B. Triplett., 1986. No-tillage and surface tillage agriculture. The tillage revolution. Wiley Interscience publication. 467p.
- Tavera G. 1984. Alteración del medio físico del suelo. sin publicar. SARH-PRONAPA.
- Threadgill, E.D. 1982. Residual tillage effects as determined by Cone Index. Transaction of ASAE. 25(4):859-863.
- Thomas, G.W. 1986. Mineral nutrition and fertilizer placement. M.A. Sprague and G.B. Triplett (eds). No-Tillage and Surface-tillage Agriculture. Wiley New York.
- Torcasso, F. 1992. Manual de Sistemas de Labranza para América Latina Boletín de suelos de la FAO 66 Labranza convencional o tradicional pag 21-30.
- Trueba, C.A. 1996. Antecedentes y perspectivas del Centro Nacional de pruebas de maquinaria agrícola en México. VI congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Monterrey, N.L.
- Unger, P.W., and T.M. McCalla., 1980. Conservation tillage systems. Adv. Agron.33:1- 58
- Vomocil, J.A., and W.J. Flocker., 1961. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. Transactions, ASAE. 4(2):242-246.
- Voorhees, W.B. 1980. Energy aspects of controlled wheel traffic in the northern Corn Belt of the US. Soil Tillage Research V:2 333-338p

Walker, J. and S.K. Chong. 1986. Characterization of compacted soil using sorptivity measurements. *Soil Sci. Soc. AM. J.* 50:288-291.

Wang, J.D., J.M. Norman., B. Lowery, and K. McSweeney. (1994). Nondestructive Determination of Hydrogeometrical Characteristics of Soil Macropores. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:294-303.

- Walker, J. and S.K. Chong. 1986. Characterization of compacted soil using sorptivity measurements. *Soil Sci. Soc. AM. J.* 50:288-291.
- Wang, J.D., J.M. Norman., B. Lowery, and K. McSweeney. (1994). Nondestructive Determination of Hydrogeometrical Characteristics of Soil Macropores. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:294-303.

Cuadro A3 Cuadrados medios para la retención de humedad (%) en cada ciclo

FV	GL	OI 1994-95	PV-1995
Bloque	2	1.1972	6.6582
Tratamientos	5	1.1078	3.3296
Error T	10	1.3484	1.1039
Muestras	3	2685.2316**	2438.2629**
Int. T x M	15	0.9270	0.9109
Error M	36	1.0480	1.2001
Profundidad	1	342.7969**	10.7890
Int. T x P	5	0.3617	0.0945
Int. M x P	3	44.7447**	64.7369**
Int. T x M x P	15	0.6971	0.6919
Error C	48	0.7859	3.1056
Total	143		
C.V. (Error C) =		4.33%	8.41%

Cuadro A4. Cuadrados medios para la porosidad (%) en cada ciclo.

FV	GL	OI 1994-95	PV-1995
Bloque	2	45.75	19.96
Tratamientos	5	19.98	6.40
Error T	10	20.60	8.25
Muestras	3	31.58	55.10**
Int. T x M	15	23.24	8.65
Error M	36	23.75	7.71
Profundidad	1	175.87**	314.87**
Int. T x P	5	22.63	6.72
Int. M x P	3	19.96	5.97
Int. T x M x P	15	13.42	8.12
Error C	48	15.65	6.29
Total	143		
C.V. (Error C) =		7.27%	4.82%

Cuadro A5. Cuadrados medios para la conductividad hidráulica (cm/seg) en cada ciclo.

FV	GL	OI 1994-95	PV-1995
Rep	2	0.000000	0.000017
Trat.	5	0.000013**	0.000028
Error T	10	0.000001	0.000011
Muest.	2	0.000017*	0.000047**
Error M	4	0.000001	0.000004
Int. TxM	10	0.000013**	0.000015**
Error C	20	0.000001	0.000005
Total	53		
C.V. (ERROR C) =		36.9656	51.0376

Cuadro A6. Cuadrados medios de la sortividad (cm/seg^{-1/2}) en cada ciclo.

FV	GL	OI 1994-95	PV-1995
Rep	2	0.022503	0.995087
Trat.	5	1.659543**	1.314020
Error T	10	0.279914	0.576129
Muest.	2	9.688057**	5.286224**
Error M	4	0.147112	0.357457
Int. TxM	10	0.776454**	0.957601**
Error C	20	0.126488	0.232147
Total	53		
C.V.(ERROR C)=		29.6915 %	23.2937 %

Cuadro A7. Cuadrados medios para el potencial de flujo mátrico (cm²/seg) en cada ciclo.

FV	GL	OI 94-95	PV-95
Rep	2	0.000232	0.995087
Trat.	5	0.002665*	1.314020
Error T	10	0.000597	0.576129
Muest.	2	0.035006**	5.286224**
Error M	4	0.000530	0.357457
Int. TxM	10	0.005097**	0.957601**
Error C	20	0.000484	0.232147
Total	53		
C.V. (ERROR C)=35.0782 %			23.2937

Cuadro A8 Cuadrados medios para la distribución de los agregados (Dag) en cada ciclo

FV	GL	OI 1994-95	PV-1995
Bloque	2	0.000763	0.000874
Tratamientos	5	0.001342	0.005936
Error T	10	0.001716	0.001968
Muestreos	3	0.003058	0.019259**
Interac T x M	15	0.002022	0.000852
Error M	36	0.001745	0.001690
Profundidad	1	0.000006	0.186987**
Int. T x P	5	0.002970	0.004661**
Int. M x P	3	0.010181**	0.001614
Int. T x M x P	15	0.002347	0.000627
Error C	48	0.001672	0.001032
Total	143		
C.V. (ERROR C) =		11.2145%	10.01726%

Cuadro A9. Cuadrados medios de la estabilidad de los agregados en húmedo (%) en cada ciclo.

FV	GL	OI 94-95	PV-95
Bloque	2	2.5401	0.5079
Tratamientos	5	2.0603	1.9049
Error T	10	1.9128	0.6829
Muestras	3	13.0586**	3.1037**
Int. T x M	15	1.1107	0.2381
Error M	36	1.0838	0.4386
Profundidad	1	0.3291	0.0644
Int. T x P	5	0.8136	0.0840
Int. M x P	3	0.4691	0.7507*
Int. T x M x P	15	1.3342**	0.1067
Error C	48	0.4684	0.2183
Total	143		
C.V. (ERROR C) =		16.8328%	16.1285%

Cuadro A10. Cuadrados medios para los límites líquido y plástico (%) en cada ciclo

FV	GL	Limite líquido		Limite Plástico	
		OI 94-94	PV-95	OI 94-95	PV-95
Bloque	2	5.6093	4.6914	0.0781	7.6756
Tratamientos	5	36.2109**	3.2578	9.0390	2.1531
Error T	10	4.5031	1.8585	8.1367	1.7796
Muestras	3	215.2786**	24.0703*	38.6796**	29.5989**
Int. T x M	15	8.6041	1.4260	11.3421	4.3109
Error M	36	4.8880	1.9377	7.4592	2.2400
Profundidad	1	1.1406	105.2187*	4.2578	49.5468**
Int. T x P	5	3.1281	2.1359	12.5359	2.7125
Int. M x P	3	15.7005*	7.7682*	9.5859	21.5703**
Int. T x M x P	15	12.5473**	1.6770	15.4687*	3.6843
Error C	48	4.7561	2.0126	7.6871	2.9762
Total	143				
C.V. (ERROR C) =		7.3599 %	5.0443 %	12.9165 %	2.9732 %

Cuadro A11. Cuadrados medios para el índice plástico, punto de pegajosidad e índice de flujo en cada ciclo.

FV	GL	Índice Plástico		Punto de pegajosidad		Índice de flujo	
		OI 94-95	PV-95	OI 94-95	PV-95	OI 94-95	PV-95
Bloque	2	2.56	0.48	2.52	7.29	47.40	22.39
Trat.	5	15.72	1.32	14.23	3.02	30.43	15.50
Error T	10	13.51	2.09	7.51	3.57	20.33	20.20
Muestras	3	96.76**	4.02	127.48**	41.55**	83.22**	21.13
Int. T x M	15	12.75	2.80	10.53	2.76	24.20	18.42
Error M	36	6.64	1.65	7.41	2.35	14.15	11.29
Profundidad	1	19.45	2.40	4.94	35.41**	15.62	117.04**
Int. T x P	5	11.24	0.91	3.54	6.73*	12.80	25.01
Int. M x P	3	24.99*	1.17	7.76	20.71**	10.86	5.26
Int. TxMxP	15	6.04	1.52	11.64	2.90	43.00**	17.00
Error C	48	8.83	1.46	8.37	2.01	10.48	14.26
Total	143						
C.V. (ERROR P) =		35.87 %	19.21 %	13.07 %	6.90 %	30.29%	38.71%

Cuadro A12. Cuadrados medios del modulo de ruptura en cada ciclo.

FV	GL	OI 94-95	PV-95
Repeticiones	2	0.000015	0.000052
Tratamientos	5	0.000127*	0.000363*
Error (T)	10	0.000027	0.000086
Muestras	3	0.000541*	0.000488
Error (P)	6	0.000098	0.000195
Interacción	15	0.000066	0.000058*
Error (C)	30	0.000053	0.000029
Total	71		
C. V.		17.1960%	16.1499%

Cuadro A13 Cuadrados medios del marco torcional y resistencia al impacto en cada ciclo.

FV	gl	Marco torcional		Resistencia al impacto	
		OI94-95	PV-95	OI94-95	PV-95
Repeticiones	2	56.42	58.75	12.75	15.93
tratamientos	5	171.89	403.81**	1.25	45.22
Error (T)	10	207.32	67.85	3.31	14.85
Muestras	3	1175.32*	129.08	10.28	97.50
Error (M)	6	151.11	81.63	0.72	1.39
Int. T x M	15	203.37	111.74**	6.62	21.43
Error (C)	30	125.12	36.65	3.43	6.07
Total	71				
C. V.		19.85%	14.87%	2.06%	2.66%

Cuadro A13a. Cuadrados medios para el esfuerzo al corte en el fondo de trabajo. ciclo OI 1994-95

Fuente	gl	CM
Tratamientos	5	1824.94**
Bloques	2	4.78
Error	10	20.89
Total	17	

Cuadro A14. Cuadrados medios mensuales para la humedad (%) ciclo OI 1995-96

Fuente de variación	gl	Humedad				
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Bloques	2	11.179	3.318	0.085	14.425	5.578
Tratamientos	3	0.000	37.921*	123.373**	64.908*	4.449
Error T	6	0.005	7.674	6.226	5.569	19.625
Muestras	2	6.207**	13.664*	5.968	5.203	10.039
Int. TxM	6	0.003	16.635**	7.389	13.031	11.832
Error M	16	0.503	3.557	3.125	6.493	15.039
Profundidad	3	43.343**	19.875	97.815*	22.231	49.649
Int TxP	9	0.000	18.661*	14.682	35.598	18.918
Int MxP	6	47.731	4.252	7.278	11.520	16.513
Int TxMxP	18	0.000	14.755	6.278	20.570	15.074
Error P	72	63.731	9.135	33.534	17.833	19.449
Total	143					
C.V.		29.41	9.18	23.62	14.78	21.42

Cuadro A15. Cuadrados medios mensuales para la densidad aparente (gr/cm^3).
ciclo OI 1995-96

Fuente de variación	gl	Densidad aparente				
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Bloques	2	.00155	.0183	.0150	.0016	.00073
Tratamientos	3	.00006	.0328	.0987**	.0690	.0347*
Error T	6	.00006	.0081	.0052	.0160	.0052
Muestreos	2	.00215*	.0007	.0046	.0003	.0020
Int. TxM	6	.00008	.0063	.0219**	.0058	.0075
Error M	16	.00005	.0082	.0045	.0064	.0041
profundidad	3	.06557*	.0113	.0461	.0222	.0041
Int TxP	9	.00008	.0155	.0399	.0270*	.0204*
Int MxP	6	.00305	.0064	.0068	.0095	.0185*
Int TxMxP	18	.00005	.0104	.0065	.0128	.0038
Error P	72	.00515	.0135	.0132	.0116	.0079
Total	143					
C.V.		5.17	8.38	8.56	7.83	6.89

Cuadro A16. Cuadrados medios mensuales para el índice de cono (kPa)
ciclo OI 1995-96

Fuente de variación	gl	Índice de cono				
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Bloques	2	263057	263056	141808	141612	413120
Trat.	3	368892	368892	53205	142748	10949
Error T	6	87701	87702	158018	60845	29392
Muest.	2	18220	18220	88408	35196	76624
Int. TxM	6	26613	26613	118762*	52318	23413
Error M	16	16832	16832	32885	23761	45837
Prof.	3	57851**	587851**	1640640**	416396**	1854165**
Int TxP	9	51466*	51466*	121680*	51611	52003
Int MxP	6	23089	23089	20589	59140	37536
Int TxMxP	18	10220	10220	34018	14462	43559
Error P	72	24896	24869	40971	24528	47320
Total	143					
C.V.		33.44	33.44	19.83	29.12	18.35

Cuadro A17. Cuadrados medios mensuales para la temperatura (°C).
ciclo OI 1995-96.

Fuente de variación	gl	Temperatura				
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Bloques	2	249.29	262.03	131.08	485.37	280.25
Tratamientos	3	24.87	20.38	3.83	82.53	42.60
Error T	6	5.49	5.96	7.65	30.18	13.63
Muestras	2	1.20	0.19	4.13	31.63	5.35
Int. TxM	6	0.89	2.33	6.28	26.54	2.80
Error M	16	2.23	2.12	16.61	17.08	4.51
Profundidad	3	895.86*	940.26*	2962.66**	1512.50**	1975.00**
Int TxP	9	6.68	4.66	39.69*	28.65	3.72
Int MxP	6	1.68	0.62	8.33	20.14	0.86
Int TxMxP	18	1.91	2.45	4.34	24.76	2.71
Error P	72	7.19	7.84	16.82	20.16	5.95
Total	143					
C.V.		12.34	12.85	22.41	34.22	25.51

Cuadro A18. Cuadrados medios mensuales para la porosidad (%).
ciclo OI 1995-96

Fuente de variación	gl	Porosidad				
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Bloques	2	1.90	26.28	21.40	2.20	1.14*
P Gde	3	0.00	46.92	140.63**	98.17	49.53
Error A	6	0.01	11.17	7.48	22.92	7.36
P Chica	2	2.06	1.17	6.70	0.29	3.01
Int. AxB	6	0.01	9.06	31.18**	8.30	10.77
Error B	16	0.06	11.66	6.52	9.23	5.94
Prof.	3	88.00**	16.32	65.76	31.64	6.00
Int AxP	9	0.01	22.04	56.81	38.53*	29.13*
Int BxP	6	4.44	9.16	9.80	13.72	26.31*
Int AxExP	18	0.00	14.92	9.28	18.25	5.46
Error P	72	7.81	19.29	18.81	16.64	11.35
Total	143					
C.V.		5.87	9.22	8.78	8.51	6.59

Cuadro A19. Cuadrados medios para los módulos de ruptura (dinas/cm²) y de contracción (%) del ciclo OI 1995-96

Fuente de variación	GL	Contracción	Ruptura
Repeticiones	2	0.324	0.000025
P Gde.	3	5.512	0.000475*
Error A	6	1.659	0.000078
P Chica	2	0.396	0.000160*
Int. AxB	6	1.291	0.000150*
Error C	16	0.809	0.000036
Total	35		
C.V.		6.37	13.19

Cuadro A20. Cuadrados medios para los límites líquido (%) y plástico (%) en el ciclo OI 1995-96

Fuente de variación	GL	Líquido	Plástico
Bloques	2	50.121	33.308594
P Gde	3	3.971	4.890625
Error A	6	18.257	13.576823
P Chica	2	5.402	0.798828
Int. AxB	6	19.489	9.786458
Error B	16	7.227	5.929688
Prof	1	21.195**	39.402344**
Int AxP	3	1.044	0.557292
Int BxP	2	0.414	0.023438
Int AxBxP	6	1.963	15.873047*
Error P	24	1.498	4.782877
Total	71		
C.V.		3.167	7.66

Cuadro A21. Cuadrados medios para el punto de pegajosidad (% Hu) y el índice de fluidez (% Hu) del ciclo OI 1995-96

Fuente de variación	GL	P. Peg.	Ind. Flui.
Bloques	2	21.2773	4.492188
P Gde	3	26.8906	162.661453
Error A	6	10.0436	61.252605
P Chica	2	17.9492	66.164063
Int. AxB	6	27.9908*	72.020836*
Error B	16	8.3366	21.525391
Prof	1	3.9062	5.406250
Int AxP	3	7.0416	7.208333
Int BxP	2	3.3476	7.718750
Int AxBxP	6	24.0338	3.057292
Error P	24	15.4134	8.613933
Total	71		
C.V.		16.2948	6.57

Cuadro A22. Cuadrados medios para diámetro, largo y ancho de hoja n° de hijuelos y longitud de raíz de planta ciclo OI 1995-96

Fuente de variación	gl	Diam	Largo	Ancho	No Hij	L. Raíz
Repeticiones	2	0.000	156.71	0.015	0.025	0.88
P Gde	3	0.001	49.89	0.002	0.036	35.11**
Error A	6	0.001	58.29	0.010	0.144	1.46
P Chica	2	0.003*	0.77	0.023	0.015	2.12
Interacción	6	0.000	12.54	0.019	0.140*	3.89*
Error B	16	0.000	23.54	0.012	0.046	1.28
Total	35					
C.V.		5.48	10.80	10.93	6.64	11.37

8. APENDICE B

Cuadro B1. Resumen de datos de las variables en la profundidad 00-30 cm utilizadas para el análisis de regresión múltiple. Ciclos OI 1994-95 y PV-1995

Hu	Da	T	K	ψ	S	P	Mc	Mr	Li
14.803	1.206	16.75	0.0032	0.0455	1.955	54.475	24.205	0.052	33.65
25.296	1.37	15.75	0.0010	0.0798	0.253	48.302	18.712	0.031	31.9
15.370	1.125	13.25	0.0069	0.1000	2.937	57.539	18.293	0.057	33.65
26.204	1.065	13.5	0.0022	0.0734	0.239	59.811	17.046	0.044	32.2
19.976	1.142	17.5	0.0085	0.1246	3.150	56.896	17.046	0.044	26.8
14.930	0.995	16	0.0047	0.0670	2.373	62.434	15.798	0.039	33.35
22.964	1.195	15	0.0021	0.0904	0.275	54.905	13.497	0.046	28.55
13.380	1.208	16	0.0011	0.0167	1.186	54.424	14.911	0.037	28.75
15.159	1.172	16.5	0.0059	0.0105	0.971	55.792	13.497	0.046	30.75
13.090	1.153	21.5	0.0030	0.0436	1.947	56.495	15.842	0.053	33.3
19.992	1.09	15.75	0.0040	0.1857	0.375	58.867	15.842	0.053	32.63
15.175	1.272	18.5	0.0011	0.0167	1.184	51.998	13.655	0.030	29.1
16.360	1.28	17	0.0019	0.1233	0.306	51.698	16.670	0.040	29.7
12.857	1.244	19	0.0006	0.0099	0.913	53.044	15.098	0.037	24.55
13.022	1.198	19.25	0.0003	0.0124	1.043	54.804	16.380	0.040	30.1
17.207	1.085	16.5	0.0049	0.1283	0.312	59.056	16.068	0.052	33.55
10.844	1.187	18.75	0.0006	0.0262	1.551	55.197	15.855	0.051	32.4
14.344	1.149	16.25	0.0005	0.0082	0.832	56.633	21.752	0.033	24.8
23.576	1.37	18	0.0026	0.0382	0.174	48.301	18.771	0.054	32.15
15.398	1.213	18.25	0.0052	0.0741	2.495	54.245	18.507	0.037	25.6
17.767	1.171	19	0.0077	0.1152	3.030	55.817	15.312	0.029	32.25
16.30	1.57	17.25	0.0012	0.0505	0.198	40.754	15.949	0.037	33.85
16.821	1.127	16.25	0.0011	0.0180	1.230	57.481	16.026	0.032	27.85
12.396	1.356	15.5	0.0052	0.0764	2.567	48.832	18.557	0.053	34.50
9.861	1.240	17.25	0.0011	0.0167	1.187	53.195	20.389	0.042	25.75
14.877	1.301	17.25	0.0016	0.0115	1.003	50.902	15.498	0.042	34.85
18.566	1.3	19	0.0069	0.2160	0.426	50.943	15.312	0.029	33.05
12.463	1.118	18.5	0.0003	0.0049	0.647	57.824	19.483	0.042	25.55
14.682	1.375	16.5	0.0001	0.0075	0.833	48.117	15.218	0.048	32.65
13.886	1.179	16	0.0068	0.1843	0.374	55.490	15.952	0.041	33.40
19.270	1.163	19.25	0.0040	0.0642	2.403	56.129	17.164	0.045	32.45
9.907	1.274	17.25	0.0011	0.0167	1.187	51.922	19.477	0.034	25.50
22.986	1.2	17.75	0.0013	0.1568	1.214	54.716	15.431	0.049	26.65
15.120	1.257	24.5	0.0029	0.0074	0.806	52.553	15.952	0.041	32.75
13.274	1.286	18.25	0.0005	0.0082	0.832	51.481	14.842	0.032	27.60
19.521	1.21	16.25	0.0020	0.1017	0.225	54.339	15.498	0.042	24.90
24.025	1.22	17.25	0.0036	0.0974	0.789	53.962	17.789	0.063	27.50
13.092	1.307	19.75	0.0010	0.0150	1.123	50.666	16.347	0.033	28.45
13.792	1.170	25	0.0002	0.0092	0.922	55.833	17.789	0.063	30.75
19.726	1.244	19	0.0022	0.1014	0.740	53.056	16.406	0.053	31.40
12.715	1.23	18.25	0.0010	0.0150	1.124	53.584	17.636	0.014	27.50
14.210	1.253	20.25	0.0046	0.0032	0.542	52.701	16.406	0.053	33.05
26.298	1.214	16.5	0.0019	0.0700	0.194	54.207	15.376	0.039	32.50
14.596	1.18	18.75	0.0036	0.0518	2.086	55.471	19.134	0.030	25.95
19.333	1.145	20.75	0.0065	0.0937	2.732	56.798	15.376	0.039	34.45
19.304	1.25	17.25	0.0030	0.0946	0.221	52.830	16.451	0.046	28.35
16.217	1.264	21	0.0002	0.0058	0.715	52.313	16.242	0.045	31.00
13.098	1.255	19.75	0.0011	0.0166	1.181	52.641	14.736	0.030	25.50
15.595	1.101	21.75	0.0040	0.0595	2.264	58.453	16.071	0.050	30.80
17.059	1.125	17.5	0.0014	0.0679	0.184	57.547	16.071	0.050	35.60
17.288	1.107	18.75	0.0036	0.0545	2.139	58.207	16.861	0.027	29.75
15.147	1.149	20.25	0.0062	0.0913	2.818	56.626	18.776	0.039	33.50
21.206	1.24	17.75	0.0049	0.1609	0.289	53.207	18.776	0.039	34.00
15.937	1.185	19	0.0030	0.0459	1.965	55.283	19.160	0.033	27.75
27.980	1.281	24	0.0029	0.0405	1.660	51.672	17.576	0.052	27.40
22.900	1.239	24.5	0.0044	0.0635	2.079	53.261	12.143	0.033	26.35
25.330	1.233	23.5	0.0021	0.0304	1.438	53.483	16.555	0.024	25.45

.. Continua Cuadro B1

30.634	1.309	22	0.0040	0.0583	1.991	50.581	19.429	0.049	25.05
29.111	1.264	22	0.0038	0.0549	1.933	52.311	20.297	0.052	28.65
23.469	1.241	26	0.0116	0.1672	3.371	53.178	21.706	0.032	27.12
22.712	1.157	26	0.0032	0.0480	1.806	56.332	17.851	0.040	29.60
27.549	1.321	24.5	0.0042	0.0604	2.028	50.151	16.919	0.041	30.10
23.520	1.312	27.5	0.0015	0.0229	1.249	50.490	20.786	0.044	31.02
26.526	1.381	27	0.0061	0.0871	2.434	47.897	15.436	0.044	30.10
24.678	1.282	25	0.0021	0.0303	1.437	51.624	15.474	0.028	28.32
23.563	1.394	26.5	0.0031	0.0473	1.794	47.382	13.909	0.029	29.55
28.599	1.149	26	0.0024	0.0337	1.515	48.634	16.260	0.036	28.85
28.566	1.234	26.5	0.0029	0.0420	1.690	53.445	14.404	0.040	29.90
26.297	1.307	29	0.0045	0.0661	2.121	50.692	13.325	0.032	29.60
27.880	1.369	26	0.0058	0.0837	2.386	48.320	13.674	0.040	30.70
30.443	1.364	27	0.0036	0.0530	1.899	48.513	15.473	0.049	31.12
22.797	1.313	28	0.0091	0.1317	2.993	50.455	18.295	0.026	29.90
19.258	1.270	33	0.0023	0.0368	1.807	52.073	17.363	0.034	26.35
13.608	1.311	34	0.0028	0.0939	3.007	50.541	13.134	0.027	26.52
10.504	1.294	32	0.0023	0.0334	1.736	51.172	13.669	0.023	25.55
12.812	1.272	30.5	0.0080	0.1167	3.240	51.983	13.478	0.033	26.00
13.130	1.264	31	0.0069	0.1010	2.921	52.283	14.029	0.044	25.90
10.106	1.298	34.25	0.0178	0.2533	4.811	50.992	14.208	0.027	26.40
13.687	1.297	37.75	0.0091	0.1330	3.351	51.052	17.584	0.044	29.15
15.040	1.245	38.25	0.0055	0.0824	2.723	53.004	13.349	0.043	27.75
13.051	1.302	38	0.0024	0.0351	1.841	50.842	15.482	0.036	26.70
13.448	1.265	35.25	0.0022	0.0332	1.741	52.253	14.395	0.025	27.55
11.299	1.250	36	0.0015	0.0276	1.565	52.824	16.467	0.025	26.92
10.822	1.246	35	0.0093	0.1349	3.490	52.974	12.748	0.029	26.82
15.915	1.283	37.25	0.0018	0.0312	1.664	51.562	12.595	0.039	29.05
17.507	1.236	37	0.0046	0.0667	2.374	53.334	14.158	0.051	29.30
14.960	1.314	36.75	0.0080	0.1163	3.240	50.421	17.285	0.042	28.00
9.549	1.243	36.75	0.0046	0.0786	2.751	53.094	16.486	0.037	29.20
11.936	1.246	37.25	0.0093	0.1361	3.500	52.944	14.641	0.052	29.10
7.224	1.253	34.5	0.0116	0.1670	3.906	52.717	17.260	0.029	28.6
28.488	1.273	29	0.0011	0.0167	1.060	51.953	3.0528	0.028	28.08
30.239	1.368	28.5	0.0022	0.0332	1.511	48.349	3.3203	0.027	27.58
30.080	1.353	28.5	0.0039	0.0661	2.121	48.950	3.3847	0.031	25.7
31.353	1.370	34.5	0.0024	0.0338	1.425	48.289	3.6642	0.042	26.83
29.125	1.303	28.75	0.0017	0.0252	1.235	50.812	3.1748	0.032	25.6
24.828	1.231	32.25	0.0012	0.0182	1.092	53.514	3.4036	0.028	26.68
28.170	1.437	29.5	0.0017	0.0250	1.229	45.767	4.1190	0.036	27.35
27.215	1.372	29.75	0.0020	0.0286	1.313	48.229	4.5122	0.039	28.55
27.215	1.459	33	0.0022	0.0340	1.530	44.926	4.6697	0.038	27
25.146	1.378	32	0.0024	0.0376	1.569	47.989	3.7801	0.040	27.75
21.804	1.257	29.75	0.0028	0.0519	1.870	52.553	3.2039	0.022	26.6
17.347	1.317	31.75	0.0036	0.0506	1.855	50.271	4.5483	0.018	26.9
21.326	1.303	35.75	0.0012	0.0183	1.112	50.812	2.6323	0.019	27.9
23.554	1.346	34.25	0.0013	0.0198	1.095	49.190	2.7401	0.017	29.05
17.984	1.284	35.5	0.0035	0.0504	1.851	51.532	3.4016	0.024	27.45
19.576	1.233	36	0.0022	0.0332	1.513	53.454	2.9912	0.034	27.85
22.918	1.309	32	0.0025	0.0354	1.460	50.571	2.8408	0.022	27.98
20.371	1.273	36	0.0011	0.0167	1.045	51.953	3.2521	0.016	27.35
19.894	1.244	30.75	0.0025	0.0402	1.878	53.034	16.135	0.026	30.7
12.095	1.254	33	0.0118	0.1678	3.869	52.674	14.589	0.026	27.85
12.732	1.274	30	0.0015	0.0275	1.578	51.893	13.996	0.031	29.6
20.053	1.236	30	0.0005	0.0083	0.793	53.334	15.229	0.043	29.65
14.323	1.244	30.5	0.0076	0.1064	3.030	53.034	17.593	0.038	27.8
13.528	1.201	30.5	0.0084	0.1181	3.223	54.655	14.417	0.024	26.7
13.846	1.230	31	0.0034	0.0499	2.074	53.574	10.428	0.026	30.45
18.143	1.284	31	0.0005	0.0084	0.798	51.532	15.725	0.031	29.65
22.759	1.250	32.5	0.0014	0.0200	1.338	52.794	18.121	0.012	31.8
14.483	1.276	30.5	0.0021	0.0302	1.631	51.833	14.706	0.013	30.4
10.822	1.274	30.5	0.0036	0.0506	2.108	51.893	13.981	0.017	25.67
13.368	1.285	30.5	0.0011	0.0167	1.229	51.472	16.542	0.024	28.27

.. Continua Cuadro BI

12.254	1.279	30.5	0.0038	0.0540	2.177	51.713	11.457	0.023	27.17
14.642	1.266	33	0.0050	0.0709	2.474	52.193	18.771	0.038	27.5
12.254	1.330	33.25	0.0013	0.0231	1.446	49.791	20.352	0.043	29.3
12.254	1.322	31.0	0.0105	0.1471	3.623	50.091	17.011	0.039	30.65
20.053	1.282	31.0	0.0005	0.0083	0.795	51.592	19.874	0.037	28.42
13.209	1.247	29.5	0.0096	0.1349	3.445	52.914	14.706	0.013	27.5

Ip	Lp	Pp	If	Ec	IC	Ae	Dag	Eas	Eah	II;
8.069	25.581	25.962	11.375	59	871.79	39.672	0.383	88.677	3.603	93.3
10.697	21.203	22.321	17.22	54	600.16	23.006	0.370	89.583	3.402	93.3
10.386	23.264	25.040	5.975	46	804.22	42.169	0.399	88.498	2.763	93.3
10.771	21.428	23.095	8.955	47	666.75	33.606	0.348	84.626	4.230	96.7
7.783	19.016	18.448	10	57	1173.2	36.919	0.372	88.215	2.725	96.7
6.751	26.598	23.928	12.21	73	1173.2	47.504	0.355	88.389	3.588	96.7
8.387	20.162	21.594	12.63	51	800.37	31.941	0.326	89.035	4.391	0
7.065	21.684	20.502	6.01	41	1066.2	41.044	0.324	88.647	3.095	0
11.259	14.490	24.980	5.585	50	1066.2	40.633	0.388	86.479	3.494	0
10.022	23.277	25	8.49	60	1270.0	43.405	0.390	89.522	2.906	56.6
10.075	22.549	22.714	8.54	51	1106.0	38.875	0.325	93.146	2.947	56.6
6.899	22.200	21.731	10.92	43	1270.0	36.823	0.368	87.155	3.365	56.6
7.883	21.816	23.769	4.385	60	803.88	35.337	0.393	93.962	9.597	38.8
11.426	13.123	16.018	7.79	60	1363.8	40.187	0.360	87.695	4.342	38.8
11.177	18.922	22.5	16.945	58	2297.2	41.782	0.386	84.445	3.945	38.8
12.574	20.975	23.344	8.725	62	1137.2	41.849	0.480	91.487	3.585	63.4
6.279	26.120	24.253	11.33	60	936.52	44.353	0.396	87.672	3.914	63.4
8.276	16.523	15.126	7.565	71	1071.5	42.289	0.345	90.437	4.077	63.4
4.586	20.563	23.909	3.325	60	634.17	24.725	0.340	87.309	4.715	96.7
5.397	20.202	15.954	8.53	65	1004.6	38.847	0.338	84.565	3.383	96.7
9.372	22.877	22.425	7.045	65	1199.4	38.050	0.372	88.904	3.422	96.7
3.991	18.627	21.686	13.075	47	599.83	24.454	0.298	89.174	4.708	93.3
6.655	21.194	17.536	10.26	40	1072.8	40.659	0.326	95.804	3.721	93.3
10.551	23.948	26.846	10.595	33	1139.5	36.437	0.363	87.978	2.659	93.3
7.247	17.002	21.282	8.93	48	1204.7	43.334	0.342	87.495	3.052	56.6
8.789	21.060	27.861	12.64	48	1202.5	36.025	0.345	84.524	3.336	56.6
7.606	22.443	21.103	9.66	45	1134.6	32.377	0.348	89.566	5.350	56.6
18.786	16.763	14.496	9.565	78	1070.5	45.361	0.343	86.632	3.509	63.4
10.110	22.539	24.202	13.315	68	1420.3	33.435	0.372	85.541	2.737	63.4
10.607	22.792	25.320	11.49	80	564.72	41.604	0.350	90.395	4.850	63.4
8.838	23.611	24.224	8.38	90	972.83	36.859	0.409	89.095	4.515	0
6.839	18.660	17.156	7.88	83	1139.0	42.015	0.418	93.457	4.509	0
8.074	18.575	15.607	16.97	63	1502.2	31.730	0.335	90.708	7.056	0
11.104	21.645	23.325	8.32	68	770.42	37.434	0.397	87.634	3.940	38.8
6.533	21.066	19.617	13.635	71	1139.0	38.207	0.370	85.653	4.706	38.8
11.775	23.125	22.222	10.05	51	837.45	34.818	0.352	94.484	8.066	38.8
15.466	17.033	19.896	13.415	78	735.53	29.937	0.354	90.051	6.447	63.4
9.138	19.311	19.523	11.95	71	871.79	37.574	0.367	94.289	3.529	63.4
7.684	23.065	24.404	14.14	80	736.41	42.041	0.374	87.136	3.122	63.4
8.765	22.634	23.877	15.485	73	1137.2	33.330	0.333	87.378	3.934	0
6.348	21.151	20.322	9.185	86	1236.3	40.869	0.415	89.532	3.280	0
9.023	24.026	24.797	5.6	87	1579.2	38.491	0.376	86.842	3.083	0
12.040	20.459	25.459	10.905	50	905.36	27.909	0.357	88.201	3.266	96.7
6.297	19.652	21.286	9.54	70	972.61	40.875	0.383	80.593	4.797	96.7
10.572	23.877	25.287	9.985	49	972.61	37.464	0.310	87.062	3.192	96.7
12.252	21.097	21.501	10.135	50	1072.8	33.526	0.367	91.142	4.079	38.8
8.916	22.083	22.5	3.275	67	1134.6	36.096	0.346	89.301	4.382	38.8
4.513	20.986	18.36	6.75	57	1237.4	39.543	0.412	65.978	3.388	38.8
8.172	22.627	21.914	12.185	73	634.39	42.857	0.389	88.411	3.115	93.3
8.217	22.382	21.809	8.94	40	600.16	40.487	0.319	85.574	3.988	93.3
7.430	22.319	20.714	12.725	60	804.21	40.919	0.372	87.433	4.038	93.3
10.275	23.224	22.705	10.05	63	1199.4	41.479	0.373	88.328	4.265	56.6
11.176	17.823	25.7	7.175	30	932.23	32.001	0.356	85.310	8.475	56.6

.. Continua Cuadro BI

6.061	21.688	21.29	8.36	54	1104.4	39.346	0.333	94.804	4.992	56.6
5.491	21.908	20.015	8.825	38	497.47	23.692	0.334	91.953	4.322	63.4
5.295	21.054	20.135	13.47	33	393.25	30.361	0.345	86.730	4.453	56.6
7.592	17.857	16.874	12.09	28	770.20	28.153	0.358	86.804	4.400	38.8
8.485	16.564	16.580	7.16	49	599.28	19.948	0.326	88.338	3.827	96.7
7.545	21.104	20.265	10.095	34	565.82	23.201	0.312	90.634	3.528	93.3
6.063	21.061	19.061	8.355	60	869.15	29.709	0.303	83.572	3.594	0
6.220	23.379	22.917	7.15	32	530.05	33.620	0.373	87.372	4.184	93.3
7.710	22.389	22.115	9.225	41	599.28	22.602	0.381	88.267	5.168	96.7
6.757	24.267	23.974	15.7	35	804.32	26.969	0.373	83.114	4.425	56.6
6.206	23.893	23.867	7.345	62	531.37	21.371	0.407	86.257	3.66	0
4.365	23.959	22.702	10.685	62	428.68	26.946	0.354	86.464	3.570	63.4
5.795	23.754	21.857	8.325	30	702.52	23.819	0.342	85.968	3.429	38.8
6.711	22.138	21.753	13.705	50	531.81	20.035	0.337	90.024	3.440	63.4
5.032	24.867	22.956	16.42	44	462.14	24.878	0.409	93.266	3.140	93.3
6.120	23.479	22.554	8.59	29	736.41	24.395	0.318	89.404	2.955	38.8
7.149	23.550	22.074	10.675	35	802.56	20.440	0.353	89.515	4.230	56.6
6.030	25.094	24.573	13.48	39	563.84	18.069	0.380	93.524	3.273	96.7
5.331	24.568	21.673	9.06	61	804.32	27.658	0.311	81.926	3.730	0
7.2638	19.086	19.297	3.73	26	870.91	32.815	0.309	89.233	3.688	63.4
6.7187	19.806	17.811	7.08	25	1951.5	36.934	0.374	91.173	3.525	56.6
5.2673	20.282	19.062	10.585	43	1401.8	40.668	0.314	88.316	2.911	38.8
5.9388	20.061	17.910	8.74	50	1401.8	39.171	0.325	89.686	3.097	96.7
7.3890	18.510	19.574	12.88	50	1199.4	39.153	0.329	90.658	3.539	93.3
7.5530	18.846	18.960	6.47	48	1951.5	40.886	0.278	89.324	2.697	0
7.6154	21.534	20.701	11.68	41	1535.1	37.365	0.348	87.350	3.389	93.3
6.3158	21.434	20.583	6.55	45	1857.4	37.964	0.341	88.612	5.112	96.7
4.6227	22.077	21.181	11.255	35	2771.8	37.791	0.349	82.966	3.716	56.6
7.4986	20.051	21.966	21.295	61	1237.4	38.805	0.365	88.484	3.604	0
5.3436	21.581	19.899	7.555	41	1270.0	41.524	0.280	85.309	3.128	63.4
4.8416	21.983	19.641	10.00	45	2337.4	42.151	0.280	86.442	4.009	38.8
7.2688	21.781	21.473	5.765	48	1102.0	35.647	0.327	82.877	4.028	63.4
7.7305	21.569	19.809	21.75	44	2904.5	35.827	0.324	84.891	3.432	93.3
5.8436	22.156	21.949	9.84	30	1468.4	35.461	0.321	88.211	3.216	38.8
7.0991	22.100	21.549	26.53	33	2019.0	43.545	0.336	91.764	4.652	56.6
6.7186	22.381	22.446	12.975	40	2349.7	41.007	0.328	88.002	3.071	96.7
6.682	21.917	21.006	13.855	40	2637.3	45.493	0.296	82.419	2.678	0
6.875	21.199	19.373	10.48	43	463.02	23.464	0.332	80.733	2.906	63.4
7.232	20.342	19.329	7.595	37	597.52	18.110	0.402	87.208	2.905	56.6
5.4124	20.287	18.337	6.685	43	935.31	18.870	0.320	83.995	2.858	38.8
6.4665	20.358	19.335	9.97	40	497.25	16.936	0.304	83.413	3.083	96.7
4.1821	21.417	18.446	4.9	30	599.83	21.686	0.256	86.486	2.258	93.3
6.8358	19.839	18.600	10.14	43	531.81	28.686	0.274	85.438	2.809	0
6.3172	21.032	19.357	9.025	27	359.68	17.596	0.311	87.512	3.216	93.3
7.6907	20.859	19.417	6.005	30	668.4	21.014	0.310	86.918	3.652	96.7
7.5730	19.426	18.212	7.495	37	870.91	17.711	0.317	89.847	3.625	56.6
7.6632	20.086	19.043	10.79	40	702.29	22.843	0.297	88.472	3.060	0
5.8567	20.743	19.324	4.725	40	599.28	30.749	0.306	81.602	2.747	63.4
5.6168	21.283	19.138	9.02	40	600.15	32.923	0.306	86.845	2.703	38.8
6.7931	21.106	19.744	8.045	30	1002.5	29.485	0.301	85.311	3.805	63.4
8.0623	20.987	19.796	10.375	30	770.42	25.635	0.344	88.960	3.146	93.3
5.7854	21.664	19.596	9.6	47	935.31	33.548	0.304	86.844	2.647	38.8
6.3532	21.496	20.460	12.985	40	871.79	33.878	0.339	87.807	3.837	56.6
7.6188	20.356	18.834	10.745	40	939.26	27.653	0.281	85.555	3.714	96.7
6.1660	21.183	18.588	9.1	40	802.56	31.581	0.279	84.276	2.359	0
5.9208	24.779	23.704	9.09	40	1399.2	33.140	0.281	84.242	3.340	63.4
4.2293	23.620	23.073	16.89	50	2838.4	40.578	0.290	83.590	3.396	56.6
6.9643	22.635	21.421	8.7	50	1600.3	39.160	0.286	84.356	2.987	38.8
5.4312	24.218	22.272	10.995	50	1199.4	33.281	0.313	87.502	3.270	96.7
5.5209	22.279	20.330	7.875	50	1169.9	38.710	0.307	86.414	2.716	93.3
6.0762	20.623	23.745	11.63	60	1169.9	41.127	0.347	85.943	2.712	0
10.057	20.392	18.409	14.365	50	2235.0	39.728	0.294	86.914	5.547	93.3
6.9459	22.704	20.693	6.69	30	1212.2	33.389	0.331	87.040	3.234	96.7

.. Continua Cuadro B1

7.0051	24.794	20.478	7.01	30	1436.1	30.035	0.343	89.453	3.591	56.6
5.7070	24.692	23.042	19.805	60	1763.2	37.350	0.258	86.762	3.388	0
5.5484	20.126	17.891	7.955	50	2637.3	41.070	0.259	85.273	2.626	63.4
12.214	16.060	18.844	16.975	40	1951.5	38.103	0.280	81.491	2.907	38.8
6.4276	20.747	18.969	8.715	40	2933.3	39.458	0.277	82.224	3.425	63.4
6.1729	21.327	19.862	8.365	30	603.25	37.551	0.287	85.258	3.212	93.3
5.7500	23.549	22.020	16.435	30	2637.3	37.536	0.297	83.909	3.783	38.8
7.1157	23.534	23.201	13.34	40	1951.5	37.836	0.348	87.337	4.391	56.6
5.1405	23.284	21.628	17.835	40	1270.0	31.539	0.285	83.872	2.768	96.7
4.7351	22.764	19.770	7.770	50	869.15	39.704	0.253	85.011	2.601	0

Cuadro B2. Estadísticos descriptivos

Variables	Suma	Media	Varianza	Desv. Std	C.V.
Hu	2320.143	18.41383	35.350605	5.9456375	32.27
Da	158.168	1.255301	0.0068903	0.0830081	6.61
T	3204.5	25.43253	53.076412	7.2853560	28.64
K	0.457	0.003630	9.1096E-6	0.0030182	83.14
ψ	7.859	0.062376	0.0025403	0.0504020	80.80
S	213.548	1.694825	0.9475307	0.973411	57.43
P	6622.412	52.55882	9.8181036	3.1333853	5.96
Mc	1823.0747	14.46884	24.868387	4.9868213	34.46
Mr	4.608	0.036571	0.0001182	0.0108726	29.72
Ll	3663.75	29.07738	7.0124386	2.6481009	9.10
lp	952.054	7.55598	5.4740188	2.3396621	30.96
Lp	2698.89	21.41976	5.0984347	2.2579713	10.54
Pp	2661.483	21.12288	6.5275720	2.5549113	12.09
If	1305.125	10.35813	14.616196	3.8231134	36.90
Ec	6218	49.34920	221.70107	14.889629	30.17
IC	143036.88	1135.213	340956.87	583.91512	51.43
Ae	4302.245	34.14480	56.317721	7.504513	21.97
Dag	42.721	0.339055	0.0016367	0.0404564	11.93
Eas	11006.615	87.35408	12.84468	3.5839484	4.10
Eah	471.619	3.743007	1.2234892	1.1061144	29.55
Il	7324.8	58.13333	1093.2	33.064313	56.87

Cuadro B3. Correlacion

CORR	Hu	Da	T	K	ψ	S	P	Mc	Mr	Ll
Hu	1.0000	0.2649	-0.0115	-0.1959	-0.1054	-0.2509	-0.2992	-0.3542	0.0831	-0.0132
Da	0.2649	1.0000	0.3931	-0.0686	-0.1333	-0.0054	-0.9741	-0.3415	-0.1989	-0.1625
T	-0.0115	0.3931	1.0000	0.2168	-0.0065	0.4656	-0.3966	-0.4509	-0.4132	-0.3808
K	-0.1959	-0.0686	0.2168	1.0000	0.8118	0.7875	0.0766	0.1439	-0.0119	0.0185
ψ	-0.1054	-0.1333	-0.0065	0.8118	1.0000	0.4613	0.1451	0.1831	0.0949	0.1189
S	-0.2509	-0.0054	0.4656	0.7875	0.4613	1.0000	0.0084	0.0517	-0.1685	-0.2072
P	-0.2992	-0.9741	-0.3966	0.0766	0.1451	0.0084	1.0000	0.3351	0.2010	0.1648
Mc	-0.3542	-0.3415	-0.4509	0.1439	0.1831	0.0517	0.3351	1.0000	0.3825	0.2678

.. Continua Cuadro B3

Mr	0.0831	-0.1989	-0.4132	-0.0119	0.0949	-0.1685	0.2010	0.3825	1.0000	0.3921
Ll	-0.0132	-0.1625	-0.3808	0.0185	0.1189	-0.2072	0.1648	0.2678	0.3921	1.0000
Ip	-0.0610	-0.3476	-0.4773	-0.1123	0.0547	-0.3486	0.3558	0.2059	0.3866	0.2992
Lp	0.0541	-0.0677	0.0948	0.1137	0.0869	0.1789	0.0609	0.1002	0.0663	0.5081
Pp	-0.0530	-0.1168	-0.2685	0.1017	0.1165	-0.0880	0.1122	0.2969	0.3960	0.8040
If	-0.1271	-0.0189	0.1317	-0.0412	0.0231	0.0481	0.0007	0.1298	0.0418	0.0853
Ec	-0.3052	-0.3972	-0.5226	-0.0222	0.0123	-0.1524	0.3970	0.3496	0.2371	0.1494
IC	-0.6170	-0.0328	0.3490	0.2602	0.1747	0.3519	0.0528	0.1678	-0.1356	-0.1002
Ae	-0.9172	-0.6166	-0.1565	0.1872	0.1441	0.2023	0.6546	0.4206	0.0181	0.0792
Dag	-0.0083	-0.2596	-0.5308	-0.1345	-0.0667	-0.2062	0.2623	0.3249	0.4062	0.3148
Eae	0.0776	-0.1063	-0.2489	-0.0147	0.1497	-0.1015	0.0918	0.1633	0.2571	0.1198
Eah	0.0444	-0.0669	-0.3170	-0.1015	0.2257	-0.3048	0.0735	0.2471	0.2074	0.0817
Il	0.1858	-0.0539	-0.0363	-0.0873	-0.0853	-0.0058	0.0502	0.0493	0.2452	0.1740

CORR	Ip	Lp	Pp	If	Ec	IC	Ae	Dag	Eae	Eah	Il
Hu	-0.0610	0.0541	-0.0530	-0.1271	-0.3052	-0.6170	-0.9172	-0.0083	0.0776	0.0444	0.1858
Da	-0.3476	-0.0677	-0.1168	-0.0189	-0.3972	-0.0328	-0.6166	-0.2596	-0.1063	-0.0669	-0.0539
T	-0.4773	0.0948	-0.2685	0.1317	-0.5226	0.3490	-0.1565	-0.5308	-0.2489	-0.3170	-0.0363
K	-0.1123	0.1137	0.1017	-0.0412	-0.0222	0.2602	0.1872	-0.1345	-0.0147	-0.1015	-0.0873
v	0.0547	0.0869	0.1165	0.0231	0.0123	0.1747	0.1441	-0.0667	0.1497	0.2257	-0.0853
S	-0.3486	0.1789	-0.0880	0.0481	-0.1524	0.3519	0.2023	-0.2062	-0.1015	-0.3048	-0.0058
P	0.3558	0.0609	0.1122	0.0007	0.3970	0.0528	0.6546	0.2623	0.0918	0.0735	0.0502
Mc	0.2059	0.1002	0.2969	0.1298	0.3496	0.1678	0.4206	0.3249	0.1633	0.2471	0.0493
Mr	0.3866	0.0663	0.3960	0.0418	0.2371	-0.1356	0.0181	0.4062	0.2571	0.2074	0.2452
Ll	0.2992	0.5081	0.8040	0.0853	0.1494	-0.1002	0.0792	0.3148	0.1198	0.0817	0.1740
Ip	1.0000	-0.3332	0.1349	0.0351	0.3231	-0.0661	0.1969	0.3415	0.2219	0.2517	0.0174
Lp	-0.3332	1.0000	0.5746	0.1207	-0.0255	-0.0051	-0.0174	0.0632	0.0165	-0.1231	0.1069
Pp	0.1349	0.5746	1.0000	0.1197	0.1318	-0.0571	0.0889	0.3445	0.0674	0.0817	0.0409
If	0.0351	0.1207	0.1197	1.0000	0.0412	0.2848	0.1010	-0.0317	0.0250	0.0149	-0.0140
Ec	0.3231	-0.0255	0.1318	0.0412	1.0000	-0.0579	0.4076	0.4317	0.0985	0.1489	-0.2481
IC	-0.0661	-0.0051	-0.0571	0.2848	-0.0579	1.0000	0.5109	-0.2177	-0.1946	-0.0937	-0.1271
Ae	0.1969	-0.0174	0.0889	0.1010	0.4076	0.5109	1.0000	0.1161	-0.0231	-0.0045	-0.1263
Dag	0.3415	0.0632	0.3445	-0.0317	0.4317	-0.2177	0.1161	1.0000	0.2285	0.2503	0.0317
Eae	0.2219	0.0165	0.0674	0.0250	0.0985	-0.1946	-0.0231	0.2285	1.0000	0.2755	0.0836
Eah	0.2517	-0.1231	0.0817	0.0149	0.1489	-0.0937	-0.0045	0.2503	0.2755	1.0000	-0.0349
Il	0.0174	0.1069	0.0409	-0.0140	-0.2481	-0.1271	-0.1263	0.0317	0.0836	-0.0349	1.0000

Cuadro B4. Resumen de las regresiones múltiples mediante el procedimiento stepwise para determinar la relación funcional entre las variables.

Intensidad de labranza:

Paso	Variable	Num	Parcial	Model0			
	Entra Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Ec	1	0.0615	0.0615	16.0120	8.1318	0.0051
2	Mr	2	0.0979	0.1595	3.6088	14.3323	0.0002
3	Da	3	0.0170	0.1764	3.1136	2.5134	0.1155
4	ψ	4	0.0170	0.1935	2.6102	2.5538	0.1126

Humedad:

Paso	Variable	Num	Parcial	Model0			
	Entra Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
	Variable	Number	Partial	Model			
1	Ae	1	0.8413	0.8413	3.17479E9	657.2397	0.0001
2	P	2	0.1587	1.0000	12.7869	2940794887	0.0001
3	Dag	3	0.0000	1.0000	2.8811	12.0159	0.0007
4	Mc	4	0.0000	1.0000	0.9324	4.0862	0.0454
5	Lp	5	0.0000	1.0000	-0.8663	4.0292	0.0470

Densidad aparente:

Paso	Variable	Num	Parcial	Model0			
	Entra Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	P	1	0.9489	0.9489	-9.5528	2302.7826	0.0001

Temperatura:

Paso	Variable	Num	Parcial	Model0			
	Entra Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Dag	1	0.2818	0.2818	145.9741	48.6488	0.0001
2	S	2	0.1325	0.4142	98.5518	27.8147	0.0001
3	Mc	3	0.1183	0.5325	56.4263	30.8629	0.0001
4	Ec	4	0.0479	0.5804	40.5615	13.8070	0.0003
5	IC	5	0.0468	0.6272	25.1088	15.0553	0.0002
6	ψ	6	0.0261	0.6533	17.3564	8.9717	0.0033
7	P	7	0.0206	0.6739	11.6595	7.4654	0.0073
8	If	8	0.0086	0.6825	10.4541	3.1661	0.0778
9	Ip	9	0.0070	0.6895	9.8541	2.6033	0.1094

.. Continua Cuadro B4

Conductividad hidráulica:

Paso	Variable		Num	Parcial		Model0		F	Prob>F
	Entra	Sale		R**2	R**2	C(p)			
1	ψ		1	0.6590	0.6590	307.9831	239.6550	0.0001	
2	S		2	0.2167	0.8757	36.7140	214.4805	0.0001	
3	Pp		3	0.0069	0.8826	29.9952	7.1873	0.0084	
4	Lp		4	0.0105	0.8931	18.7986	11.8458	0.0008	
5	Eah		5	0.0080	0.9011	10.7270	9.6899	0.0023	
6	If		6	0.0068	0.9079	4.1146	8.8265	0.0036	
7	Ec		7	0.0020	0.9099	3.6060	2.6056	0.1092	
8	T		8	0.0020	0.9119	3.1219	2.6155	0.1085	

Potencial de flujo mátrico:

Paso	Variable		Num	Parcial		Model0		F	Prob>F
	Entra	Sale		R**2	R**2	C(p)			
1	K		1	0.6590	0.6590	94.9777	239.6550	0.0001	
2	Eah		2	0.0959	0.7549	35.9676	48.1141	0.0001	
3	S		3	0.0355	0.7904	15.3887	20.6511	0.0001	
4	If		4	0.0066	0.7970	13.1644	3.9573	0.0489	
5	Eas		5	0.0046	0.8016	12.2594	2.7609	0.0992	
6	Pp		6	0.0038	0.8054	11.8383	2.3265	0.1298	
7	Lp		7	0.0102	0.8155	7.3729	6.5000	0.0121	

Sortividad:

Paso	Variable		Num	Parcial		Model0		F	Prob>F
	Entra	Sale		R**2	R**2	C(p)			
1	K		1	0.6202	0.6202	125.9227	202.4463	0.0001	
2	ψ		2	0.0929	0.7131	67.2667	39.8399	0.0001	
3	T		3	0.0466	0.7597	38.8558	23.6531	0.0001	
4	Ip		4	0.0123	0.7719	32.8497	6.5082	0.0120	
5	Ae		5	0.0147	0.7866	25.2556	8.2675	0.0048	
6	Pp		6	0.0082	0.7948	21.9120	4.7486	0.0313	
7	Lp		7	0.0156	0.8104	13.7492	9.6906	0.0023	
8	If		8	0.0062	0.8166	11.6937	3.9643	0.0488	
9	Dag		9	0.0055	0.8221	10.1267	3.5631	0.0616	
10	Ec		10	0.0065	0.8285	7.9066	4.3367	0.0395	
11	Ll		11	0.0034	0.8320	7.6625	2.3329	0.1294	
12		Ip	10	0.0018	0.8301	6.8690	1.2542	0.2651	

.. Continua Cuadro B4

Porosidad:

Paso	Variable		Num	Parcial		Modelo		
	Entra	Sale		In	R**2	R**2	C(p)	F
1	Da		1	0.9489	0.9489	283841776	2302.7826	0.0001
2	Ae		2	0.0047	0.9536	257735988	12.4585	0.0006
3	Hu		3	0.0464	1.0000	14.7171	236923419	0.0001
4		Da	2	0.0000	1.0000	12.7813	0.0591	0.8084
5	Dag		3	0.0000	1.0000	2.8799	12.0117	0.0007
6	Mc		4	0.0000	1.0000	0.9313	4.0860	0.0454
7	Lp		5	0.0000	1.0000	-0.8680	4.0300	0.0469

Modulo de contracción:

Paso	Variable		Num	Parcial		Modelo		
	Entra	Sale		In	R**2	R**2	C(p)	F
1	T		1	0.2033	0.2033	48.2717	31.6387	0.0001
2	Hu		2	0.1292	0.3325	22.6592	23.8074	0.0001
3	Mr		3	0.0612	0.3936	11.5878	12.3060	0.0006
4	S		4	0.0362	0.4299	5.8419	7.6924	0.0064
5	Eah		5	0.0205	0.4504	3.4615	4.4751	0.0365
6	If		6	0.0151	0.4655	2.2265	3.3702	0.0689
7	Lp		7	0.0108	0.4763	1.9210	2.4307	0.1217

Modulo de Ruptura:

Paso	Variable		Num	Parcial		Modelo		
	Entra	Sale		In	R**2	R**2	C(p)	F
1	T		1	0.1707	0.1707	35.7967	25.5243	0.0001
2	Pp		2	0.0876	0.2583	21.1327	14.5230	0.0002
3	Il		3	0.0488	0.3071	13.8467	8.5925	0.0040
4	Ip		4	0.0455	0.3526	7.1944	8.4981	0.0042
5	Mc		5	0.0253	0.3778	4.3881	4.8718	0.0292
6	Hu		6	0.0230	0.4008	2.0180	4.5610	0.0348
7		T	5	0.0051	0.3956	0.9947	1.0194	0.3147
8	Dag		6	0.0163	0.4120	-0.1094	3.3014	0.0717

Límite líquido:

Paso	Variable		Num	Parcial		Modelo		
	Entra	Sale		In	R**2	R**2	C(p)	F
1	Pp		1	0.6464	0.6464	38.2602	226.6349	0.0001
2	Ip		2	0.0371	0.6834	23.4644	14.3999	0.0002

.. Continua Cuadro B4

3	Lp	3	0.0318	0.7153	11.0352	13.6425	0.0003
4	Il	4	0.0138	0.7291	6.7811	6.1634	0.0144
5	T	5	0.0117	0.7408	3.4682	5.4275	0.0215
6	Da	6	0.0052	0.7460	3.1153	2.4323	0.1215
7	Dag	7	0.0046	0.7506	3.0379	2.1686	0.1435

Indice de plasticidad:

Paso	Variable	Num	Parcial	Modelo			
	Entra Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	T	1	0.2278	0.2278	67.4213	36.5742	0.0001
2	Lp	2	0.0837	0.3115	48.8922	14.9508	0.0002
3	Ll	3	0.1365	0.4480	17.4025	30.1748	0.0001
4	P	4	0.0558	0.5037	5.7266	13.5942	0.0003
5	Mr	5	0.0197	0.5234	2.9045	4.9499	0.0280
6	T	4	0.0038	0.5196	1.8275	0.9475	0.3323
7	S	5	0.0140	0.5336	0.4032	3.5918	0.0605
8	Eas	6	0.0097	0.5433	0.0271	2.5241	0.1148

Limite Plastico:

Paso	Variable	Num	Parcial	Modelo			
	Entra Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Pp	1	0.3301	0.3301	95.3223	61.1091	0.0001
2	Ip	2	0.1718	0.5019	41.5812	42.4316	0.0001
3	Ll	3	0.0501	0.5520	27.3299	13.6425	0.0003
4	Dap	4	0.0217	0.5738	22.2817	6.1673	0.0144
5	T	5	0.0254	0.5992	16.0289	7.6162	0.0067
6	Hu	6	0.0118	0.6110	14.2081	3.6026	0.0601
7	Ec	7	0.0088	0.6198	13.3560	2.7283	0.1012

Punto de pegajosidad:

Paso	Variable	Num	Parcial	Modelo			
	Entra Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Ll	1	0.6464	0.6464	37.1224	226.6349	0.0001
2	Lp	2	0.0372	0.6835	22.3886	14.4552	0.0002
3	Mr	3	0.0149	0.6984	17.7054	6.0082	0.0157
4	Il	4	0.0174	0.7158	11.8590	7.4255	0.0074
5	Dag	5	0.0056	0.7214	11.3556	2.3964	0.1242

.. Continua Cuadro B4

Indice de cono:

Paso	Variable		Parcial		Modelo			
	Entra	Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	IC		1	0.0811	0.0811	4.7973	10.9489	0.0012
2	Pp		2	0.0185	0.0997	4.2382	2.5337	0.1140
3	K		3	0.0188	0.1184	3.6507	2.5949	0.1098

Esfuerzo al corte:

Paso	Variable		Parcial		Modelo			
	Entra	Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	T		1	0.2731	0.2731	43.6453	46.5867	0.0001
2	Ae		2	0.1088	0.3819	20.8522	21.6507	0.0001
3	Il		3	0.0507	0.4326	11.3010	10.8990	0.0013
4	Dag		4	0.0302	0.4628	6.4262	6.7946	0.0103

Indice de cono:

Paso	Variable		Parcial		Modelo			
	Entra	Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Hu		1	0.3807	0.3807	32.8848	76.2342	0.0001
2	T		2	0.1169	0.4976	5.6446	28.6248	0.0001
3	If		3	0.0271	0.5247	0.8664	6.9568	0.0094
4	ψ		4	0.0124	0.5371	-0.2246	3.2306	0.0748
5	Ec		5	0.0091	0.5462	-0.5081	2.4144	0.1229
6	Eas		6	0.0093	0.5555	-0.8339	2.4896	0.1173

Aeración:

Paso	Variable		Parcial		Modelo			
	Entra	Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Hu		1	0.8413	0.8413	5.05787E9	657.2397	0.0001
2	P		2	0.1587	1.0000	12.7877	4685053985	0.0001
3	Dag		3	0.0000	1.0000	2.8824	12.0154	0.0007
4	Mc		4	0.0000	1.0000	0.9324	4.0874	0.0454
5	Lp		5	0.0000	1.0000	-0.8666	4.0296	0.0470

.. Continua Cuadro B4

Distribución de agregados:

Paso	Variable	Num	Parcial	Modelo	C(p)	F	Prob>F
	Entra Sale	In	R**2	R**2			
1	T	1	0.2818	0.2818	14.8150	48.6488	0.0001
2	Pp	2	0.0440	0.3257	8.4411	8.0192	0.0054
3	Ec	3	0.0335	0.3593	4.0544	6.3838	0.0128
4	Mr	4	0.0193	0.3786	2.3686	3.7678	0.0546
5	ψ	5	0.0115	0.3902	2.1697	2.2714	0.1344
6	Eah	6	0.0113	0.4014	2.0242	2.2392	0.1372
7	S	7	0.0174	0.4188	0.7066	3.5362	0.0625

Estabilidad de agregados en seco:

Paso	Variable	Num	Parcial	Modelo	C(p)	F	Prob>F
	Entra Sale	In	R**2	R**2			
1	Eah	1	0.0759	0.0759	1.7241	10.1883	0.0018
2	Mr	2	0.0418	0.1177	-1.8671	5.8216	0.0173
3	IC	3	0.0214	0.1391	-2.7288	3.0287	0.0843

Estabilidad de agregados en humedo:

Paso	Variable	Num	Parcial	Modelo	C(p)	F	Prob>F
	Entra Sale	In	R**2	R**2			
1	T	1	0.1005	0.1005	38.3273	13.8561	0.0003
2	ψ	2	0.0500	0.1505	31.4148	7.2399	0.0081
3	K	3	0.1579	0.3084	5.2733	27.8508	0.0001
4	Mc	4	0.0244	0.3328	2.9203	4.4292	0.0374
5	T	3	0.0021	0.3307	1.2951	0.3814	0.5380
6	Dag	4	0.0191	0.3498	-0.1043	3.5491	0.0620
7	Lp	5	0.0178	0.3676	-1.2759	3.3763	0.0686

.. Continua Cuadro B4

Indice de cono:

Paso	Variable		Parcial		Modelo			
	Entra	Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	IC		1	0.0811	0.0811	4.7973	10.9489	0.0012
2	Pp		2	0.0185	0.0997	4.2382	2.5337	0.1140
3	K		3	0.0188	0.1184	3.6507	2.5949	0.1098

Esfuerzo al corte:

Paso	Variable		Parcial		Modelo			
	Entra	Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	T		1	0.2731	0.2731	43.6453	46.5867	0.0001
2	Ae		2	0.1088	0.3819	20.8522	21.6507	0.0001
3	Il		3	0.0507	0.4326	11.3010	10.8990	0.0013
4	Dag		4	0.0302	0.4628	6.4262	6.7946	0.0103

Indice de cono:

Paso	Variable		Parcial		Modelo			
	Entra	Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Hu		1	0.3807	0.3807	32.8848	76.2342	0.0001
2	T		2	0.1169	0.4976	5.6446	28.6248	0.0001
3	If		3	0.0271	0.5247	0.8664	6.9568	0.0094
4	ψ		4	0.0124	0.5371	-0.2246	3.2306	0.0748
5	Ec		5	0.0091	0.5462	-0.5081	2.4144	0.1229
6	Eas		6	0.0093	0.5555	-0.8339	2.4896	0.1173

Aeración:

Paso	Variable		Parcial		Modelo			
	Entra	Sale	In	R**2	R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Hu		1	0.8413	0.8413	5.05787E9	657.2397	0.0001
2	P		2	0.1587	1.0000	12.7877	4685053985	0.0001
3	Dag		3	0.0000	1.0000	2.8824	12.0154	0.0007
4	Mc		4	0.0000	1.0000	0.9324	4.0874	0.0454
5	Lp		5	0.0000	1.0000	-0.8666	4.0296	0.0470

