



**UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA DE
VALENCIA**

**DEPARTAMENTO DE
MECANIZACIÓN Y TECNOLOGÍA
AGRARIA**



**UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

TESIS DOCTORAL

**ESTUDIO Y DISEÑO DEL MÓDULO DE TRASPLANTE DE
UNA TRASPLANTADORA PARA SUELOS ACOLCHADOS
EN EL CULTIVO DE LA FRESA**

**AUTOR:
CÉSAR GUTIÉRREZ VACA**

**CODIRECTOR:
DR. RYSZARD SERWATOWSKI HLAWINSKA**

**CODIRECTOR:
DR. CARLOS GRACIA LÓPEZ**

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG), al Consejo Nacional de la Fresa A.C. (CONAFRE), a la Empresa Montellano Estructuras y Construcciones S.A. de C.V., por la aportación de recursos humanos y financieros para la realización del proyecto “Soluciones mecánicas al trasplante manual en el cultivo de la fresa” de donde emerge este trabajo.

A los miembros del Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria de la Universidad Politécnica de Valencia y a la Facoltà di Ingegneria Agraria e Forestale Della Università degli Studi di Firenze, por su apoyo durante la realización de los cursos del programa de doctorado Agrolatino, y obtención del Diploma de Estudios Avanzados. A los miembros del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato, casa donde habita mi espíritu, por el apoyo invaluable durante la realización de la tesis que se presenta.

Al Dr. Ryszard Serwatowski Hlawinska, segundo Polaco que ha impactado en mi vida, y a quien pertenece en realidad esta tesis. Al Dr. Carlos Gracia López, quien durante estos cinco años de trabajo ha producido un cambio en mí, por el apoyo desprendido hacia México y sus amigos Mexicanos. Al Dr. Manuel Cabrera Sixto por su confianza y apoyo invaluable desde el principio hasta el final del proyecto realizado. Al M.I. Manuel Collado Marié por su apoyo incondicional.

Al grupo de investigación del Cuerpo de Diseño de Maquinaria y Equipo Agroindustrial, nuevamente al Dr. Ryszard Serwatowski Hlawinska y Dr. José Manuel Cabrera Sixto, además del Dr. Armando Juárez Guaní, Dr. Noé Saldaña Robles e Ing. Agustín Zavala Segoviano (Empresa Montellano Estructuras y Construcciones S.A de C.V.), sin ellos no podría ser realidad parte del proyecto que ahora se concluye.

A mis profesores universitarios, especialmente a los del Departamento de Ingeniería Agrícola ahora compañeros de trabajo, de quienes aprendí más de lo que no me enseñaron. A mis profesores de primaria, secundaria y preparatoria, aún recuerdo sus caras y algunos nombres, nunca se sabe hasta donde llegarán nuestros estudiantes.

El apoyo generoso de Juanjo (DMTA - UPV), Maricarmen (DMTA – UPV), Álvaro (ICA – UG), Briseida (ICA – UG), Catalina (ICA – UG).

La maldad en el hombre es la ausencia de Dios,
así como la ignorancia es la ausencia de Educación

Dedicatoria

A **Dios** quien no me abandona a pesar de todas mis faltas

A mis **padres**, Rosendo y Sofía
Por sus enseñanzas, tenacidad y tolerancia.

A mi hermano **Alejandro**, que con Dios esté.
Espero volver a vernos.

A mis **hermanas**:
Gabriela, Martha Elsa, Norma Rocío y Marisol.
Por soportar de mí las espinas más agudas.

A mi esposa **Patricia** y sus papás, Miguel y Carmen
Quienes me han ayudado desde el inicio de este trabajo.

A mi hija **Sofía**
Por decirme tanto sin aún poder hablar,
Dios te permita leer esta memoria.

A mis **abuelos**:
Francisco, José y Luz, que ya no están,
y a mi abuela Sofía que aún en sus rezos me recuerda.

A mis **cuñados**
José Luís, Jaime, Francisco, Filiberto y Claudia

A mis **sobrinos**:
Paulina, Juan Diego, Luís, Andrea y Alejandro

A mis **tíos y primos**
Por parte de mi padre y madre,

A mis **amigos**
Donde quiera que estén

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	i
Índice de tablas.....	iii
Índice de figuras.....	v
Nomenclatura.....	ix
Resumen.....	xi
Resum.....	xiii
Summary.....	xv
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Importancia de la fresa como cultivo en México y en el ámbito internacional.....	2
1.2 El trasplante dentro del cultivo (Métodos de trasplante).....	9
1.2.1 Métodos de propagación de la fresa.....	12
1.2.2 Sistemas de producción.....	15
1.2.2.1 Desarrollo de la planta en vivero.....	18
1.2.2.2 Labores previas al trasplante.....	21
1.2.2.3 Desarrollo de la planta en campo de producción.....	23
1.3 La pertinencia del diseño de la trasplantadora.....	29
2 ANTECEDENTES.....	33
2.1 Niveles de trasplante.....	37
2.2 Mecanismos marcadores o perforadores.....	39
2.3 Mecanismos distribuidores.....	41
2.4 Combinaciones de mecanismos distribuidores y alimentadores.....	46
2.5 Mecanismos auxiliares.....	51
2.6 Trasplantadoras.....	52
2.7 Patentes de trasplantadoras.....	58
3 OBJETIVOS.....	67
3.1 Objetivo general.....	71
3.2 Objetivos específicos.....	71
4 ESTUDIO DE ESTRÉS HÍDRICO Y CORTE DE RAÍZ DE PLANTAS DE FRESA.....	73
4.1 Materiales y métodos.....	74
4.2 Resultados y discusión.....	78
4.3 Conclusiones del estudio de estrés hídrico y corte de raíz de plantas de fresa.....	84
5 ESTUDIO DEL CORTE DE PLÁSTICO SOBRE SUELO ACOLCHADO.....	85
5.1 Antecedentes.....	86
5.2 Materiales y métodos.....	90

5.2.1	Análisis de las propiedades mecánicas del plástico de uso común en acolchado del cultivo de fresa (En laboratorio con texturómetro)	90
5.2.2	Análisis del corte de plástico con cuchilla utilizando las variables (En laboratorio con texturómetro)	94
5.2.3	Análisis del corte de plástico sobre suelo utilizando las variables (En laboratorio con texturómetro)	98
5.2.4	Análisis del corte de suelo utilizando las variables (En laboratorio con texturómetro)	102
5.2.5	Análisis de corte de plástico sobre suelo utilizando las variables (Caída libre)	103
5.2.6	Análisis de corte de suelo utilizando las variables (Caída libre)	107
5.3	Resultados y discusión	108
5.3.1	Análisis de las propiedades mecánicas del plástico	108
5.3.2	Análisis del corte de plástico con cuchilla	113
5.3.3	Análisis del corte de plástico sobre suelo caso textuómetro	117
5.3.4	Análisis del corte de suelo en texturómetro	126
5.3.5	Análisis de corte de plástico sobre suelo caso caída libre	139
5.3.6	Análisis de corte de suelo caso caída libre	150
5.4	Conclusiones del estudio de corte de plástico	158
5.5	Parámetros de diseño del cortador	160
6	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE TRASPLANTE	164
6.1	Esquema general de la máquina trasplantadora	165
6.2	Diseño conceptual del módulo de trasplante	168
6.2.1	Principio de funcionamiento del módulo	173
6.3	Pruebas de laboratorio del módulo de trasplante	176
6.3.1	Materiales y métodos	176
6.3.2	Resultados y discusión	181
6.3.3	Conclusiones de las pruebas de laboratorio del módulo de trasplante	185
7	CONCLUSIONES FINALES	187
8	BIBLIOGRAFÍA	190
	APÉNDICE I. Ensayos de corte de plástico con cuchilla	195
	APÉNDICE II. Ensayos de corte de plástico con cuchilla sobre suelo en texturómetro	227
	APÉNDICE III. Ensayos de corte de suelo con cuchilla en texturómetro	231
	APÉNDICE IV. Ensayos de corte de plástico sobre suelo con cuchilla en caída libre	247
	APÉNDICE V. Ensayos de corte de suelo con cuchilla en caída libre	257
	APÉNDICE VI. Empresas fabricantes de trasplantadoras	267
	APÉNDICE VII. Patentes de trasplantadoras	271

ÍNDICE DE TABLAS

Número de tabla	Nombre de la tabla	Pág.
Capítulo 2		
2.1	Trasplante en horticultura, ventajas y desventajas frente a la siembra directa en terreno de asiento, según C. Gracia 1991.....	31
2.2	Tipo de mecanismos trasplantadores en base al tipo de planta y nivel de mecanización.....	54
Capítulo 4		
4.1	Parcelas experimentales (2 bloques) individuales en 5 tratamientos y 3 subtratamientos.....	77
4.2	Primera evaluación de plantación en campo.....	78
4.3	Análisis estadístico de estrés hídrico y corte de raíz primer evaluación.....	79
4.4	Análisis de comparación múltiple por el método de Fisher (LSD) para el factor riego primer evaluación.....	80
4.5	Análisis de comparación múltiple por el método de Fisher (LSD), para el factor corte primer evaluación.....	80
4.6	Segunda evaluación de plantación en campo.....	82
4.7	Análisis estadístico de estrés hídrico y corte de raíz segunda evaluación.....	82
4.8	Análisis de comparación múltiple por el método de fisher (LSD), para el factor riego segunda evaluación.....	83
4.9	Análisis de comparación múltiple por el método de fisher (LSD), para el factor corte segunda evaluación.....	83
Capítulo 5		
5.1	Cuchillas para los ensayos de corte.....	95
5.2	Propiedades mecánicas de los plásticos a utilizar.....	109
5.3	Pruebas mecánicas de tensión en plástico usando el texturómetro.....	110
5.4	Análisis de varianza para plástico 1 y 2, considerando energía como parámetro de evaluación.....	111
5.5	Análisis de rango múltiple para plástico 1 y 2, considerando energía como parámetro de evaluación.....	112
5.6	Análisis de varianza para plástico 1 y 2, considerando punto de ruptura como parámetro de evaluación.....	113
5.7	Análisis de rango múltiple para plástico 1 y 2, considerando punto de ruptura como parámetro de evaluación.....	113
5.8	Valores promedio para los ensayos de corte de plástico con cuchilla en texturómetro.....	115
5.9	Resultados de las 5 repeticiones de la combinación C1H1S1F1P1V1.....	117
5.10	Resumen de las energías promedio de las variables analizadas en el corte de plástico sobre suelo con texturómetro.....	119
5.11	Análisis de varianza para las combinaciones de corte de plástico sobre suelo en texturómetro, en términos de punto de ruptura.....	121
5.12	Análisis de rango múltiple de las variables; a) cuchilla, b) plástico, c) suelo, d) humedad, e) compactación y f) velocidad, en términos del punto de ruptura. ...	123
5.13	Resumen de las energías promedio de las variables analizadas en corte de suelo.....	130

5.14	Análisis de varianza para las combinaciones de corte de suelo en texturómetro, en términos de energía.....	131
5.15	Análisis de rango múltiple de las variables; a) cuchilla, b) suelo, c) humedad, d) compactación y e) velocidad en términos de energía.....	133
5.16	Energía neta utilizada para el corte de plástico en los ensayos del texturómetro.....	136
5.17	Energía neta unitaria para corte de plástico en texturómetro.....	138
5.18	Resumen promediado de las variables analizadas en corte de plástico sobre suelo con cuchilla en caída libre.....	139
5.19	Análisis de varianza para las combinaciones de corte de plástico sobre suelo en caída libre, en términos de energía.....	140
5.20	Análisis de rango múltiple de las variables; a) cuchilla, b) suelo, c) compactación, d) plástico y e) masa, en términos de energía.....	142
5.21	Análisis de varianza para las combinaciones de corte de plástico sobre suelo en caída libre, en términos del punto de ruptura.	145
5.22	Análisis de rango múltiple de las variables; a) cuchilla, b) suelo, c) compactación, d) plástico y e) masa, en términos del punto de ruptura.....	147
5.23	Profundidad de corte (mm) para los ensayos de caída libre y texturómetro.....	149
5.24	Energía promedio de las variables analizadas para corte de suelo con cuchilla en caída libre.....	151
5.25	Análisis de varianza para las combinaciones de corte de suelo en caída libre, en términos energía.....	152
5.26	Análisis de rango múltiple de las variables; a) cuchilla, b) suelo, c) compactación y d) masa, en términos de energía, para corte de suelo en caída libre.	153
5.27	Energía neta utilizada para el corte de plástico en los ensayos de caída libre...	155
5.28	Energía neta unitaria para corte de plástico en caída libre.....	157
5.29	Comparación de energías netas unitarias entre corte de plástico en texturómetro y caída libre.....	158
Capítulo 6		
6.1	Ponderación de las características de desempeño evaluadas en el módulo de trasplante.....	181
6.2	Pruebas realizadas en el suelo franco arcilloso.....	182
6.3	Pruebas realizadas en el suelo franco arenoso.....	183

ÍNDICE DE FIGURAS

Número de figura	Nombre de la figura	Pág.
Capítulo 1		
1.1	Historial de producción de los principales países productores de fresa.....	4
1.2	Historial de siembras en los principales países productores de fresa.....	4
1.3	Historial de siembras para los principales estados productores de Fresa en México.....	5
1.4	Historial de rendimiento de los principales países productores.....	5
1.5	Estados productores de fresa en México.....	7
1.6	Cosechadora de fresa. Dr. G. Colorio (Roma Italia)	10
1.7	Recolección asistida en fresa	10
1.8	Recolección asistida con banda de empaque.....	10
1.9	Plantas de fresa a desarrollarse en cepellón.....	11
1.10	Trasplantadora de discos flexibles	11
1.11	Trasplantadora de cepellones para suelos acolchados.....	12
1.12	Forma de propagación de la fresa.....	13
1.13	Trasplante de planta madre y recolección de plantas.....	18
1.14	Preparación de plantas en vivero.....	19
1.15	Plantas desarrolladas en turba.....	20
1.16	Formación del alomado, colocación de cobertura de polietileno, cintilla de riego y aplicación de químicos.....	23
1.17	Cosecha de plantas y confección para ser enviadas a campo.	23
1.18	Perforación en suelo cubierto de forma total	24
1.19	Trasplante manual asistido por herramienta.....	26
1.20	Trasplante manual asistido por herramienta para suelos de difícil perforación	27
1.21	Profundidad de plantación.....	27
1.22	Histórico de hectáreas dedicadas a la producción de fresas en sistemas del tipo sin suelo (Huelva, España).....	29
1.23	Sistema cerrado de canalón colgante con material artificial de soporte radicular.....	29
Capítulo 2		
2.1	Presentaciones del material vegetal a trasplantar: a) raíz desnuda, b) cepellón, c) contenida en "paper pot".....	35
2.2	Rodillo marcador.....	39
2.3	Reja abresurco.....	40
2.4	Perforador neumático.....	41
2.5	Distribuidor de discos flexibles.....	41
2.6	Distribuidor de pinzas prensoras	43

2.7	Distribuidor de vasos rodantes en torno a un eje vertical.....	44
2.8	Distribuidor de vasos rodantes en torno a un eje horizontal.....	45
2.9	Distribuidor de cinta transportadora continua.....	46
2.10	Distribuidor de cinta transportadora de cangilones.....	47
2.11	Distribuidor continuo para cadena de papel biodegradable.....	48
2.12	Distribuidor de vasos entorno a eje horizontal alimentado por vasos que giran en torno a eje vertical.....	49
2.13	Distribuidor de discos convergentes con sistema de alimentación por cinta transportadora.....	50
2.14	Trasplantadora con patín nivelador y prensor de suelo.....	51
2.15	Aportación de micro gránulos paralelo al trasplante.....	52
2.16	Cuerpos trasplantadores para doble hilera.....	53
2.17	Trasplantadora automática <i>Futura</i>	55
2.18	Trasplantadora semiautomática <i>Fast Wolf</i>	57
2.19	Trasplantadora para cepellones en suelos acolchados FCP.....	58
2.20	Trasplantadora Patente EP0457679.....	59
2.21	Trasplantadora Patente US4455950.....	60
2.22	Trasplantadora de cinta transportadora inclinada (Pat. EP0596841)	61
2.23	Trasplantadora con tubo aductor de descarga (Pat. US6539883).	61
2.24	Mecanismo de extracción desde la bandeja (Pat. WO9828965-6)	62
2.25	Trasplantadora por principio de vacío (Pat. EP0457906)	64
2.26	Trasplantadora conducida por manceras (Pat. US4597343)	65
Capítulo 4		
4.1	Parcela de evaluación.....	75
4.2	Vaso perforador manual.....	75
4.3	Esquema de toma de datos en sub-parcelas.....	76
4.4	Gráfico que muestra la variable de plantas vivas para la interacción entre riego y corte, en la primera evaluación de campo.	80
4.5	Gráfico que muestra la variable de plantas vivas para la interacción entre riego y corte, en la segunda evaluación de campo.	83
Capítulo 5.		
5.1	Micro systems <i>TAXT2</i>	92
5.2	Probeta de plástico.....	92
5.3	Cuchillas para los ensayos de corte Gutiérrez C. 2006.....	94
5.4	Cuchillas para los ensayos de corte.....	95
5.5	Base para probetas en texturómetro.....	96
5.6	Probeta de plástico a ser ensayada.....	97
5.7	Dispositivo compactador.....	100

5.8	Probeta de suelo y plástico a ser ensayada.....	101
5.9	Diseño del cortador para realizar los ensayos de corte de plástico en caída libre.....	104
5.10	Elemento para evaluar la profundidad de corte en el suelo.....	106
5.11	Prueba de tensión P1.....	109
5.12	Prueba de tensión P2.....	109
5.13	Corte de plástico con cuchilla a V1 (P1CXV1RX).....	114
5.14	Corte de plástico con cuchilla a V2 (P1CXV2RX).....	114
5.15	Probetas de plástico después de cortadas Combinación P2C2V2.....	116
5.16	Probetas de plástico después de cortadas Combinación P1C4V1.....	116
5.17	Ensayo de corte de plástico sobre suelo en texturómetro CX H1 S1 F1 P1 V1 RX.....	120
5.18	Gráficas de las interacciones entre las variables estudiadas en términos del punto de ruptura.....	125
5.19	Ensayos de corte de suelo en texturómetro CX H1 S1 F1 V1 RX.....	127
5.20	Comparación entre corte de plástico y suelo contra corte de suelo para la combinación C1 H1 S1 F1 P1 V1 RX.....	127
5.21	Corte de suelo a CC con cuchilla.....	130
5.22	Gráficas de las interacciones entre las variables estudiadas en términos de energía.....	135
5.23	Energía requerida solo en la fase de corte de plástico sobre suelo en texturómetro.....	137
5.24	Gráficas de las interacciones entre las variables estudiadas en términos de energía.....	144
5.25	Gráficas de las interacciones entre las variables estudiadas en términos del punto de ruptura.....	148
5.26	Gráficas de las interacciones entre las variables estudiadas en términos de energía para corte de suelo en caída libre.....	154
5.27	Energía requerida para corte de plástico sobre suelo en caída libre.....	156
5.28	Esquema de las posiciones requeridas por el cortador.....	161
5.29	Dibujo esquemático del resorte del cortador.....	163
Capítulo 6		
6.1	Esquema de la trasplantadora.....	167
6.2	Trasplantadora de cintas flexibles (Pat. EP0457679).....	168
6.3	Módulo de trasplante y esquema con vistas.....	169
6.4	Cortador y su esquema.....	170
6.5	Gancho y su esquema.....	172
6.6	Pinza y su esquema de pinza.....	173

6.7	Cadena de módulos.....	174
6.8	Esquema del módulo de trasplante.....	175
6.9	Compartimiento de suelo (soil bin)	177
6.10	Dispositivo de pruebas	178
6.11	Soporte de guías del dispositivo de pruebas.....	179
6.12	Sistema de tracción del dispositivo de pruebas.....	180
6.13	Calidad de trasplante mostrado por el módulo (Suelo franco - arcilloso)	183
6.14	Calidad de trasplante mostrado por el módulo (Suelo franco - arenoso)	184
6.15	Trasplante correcto.....	184
6.16	Trasplante aceptable al ocultar el plástico.....	185
6.17	Trasplante con problemas de verticalidad de la planta.....	185

NOMENCLATURA

Símbolo	Unidad
cm	Centímetros
h	Hora
ha	Hectárea
J	Joule
J/mm	Energía Unitaria
km	Kilómetros
km / h	Velocidad
m	Metros
mm	Milímetros
mN	Milínewton
N	Newton
N / m	Gradiente
Pa	Pascales (N/m ²)

Abreviatura	Significado
AR ₀	Surco acolchado regado después de 0 horas
AR ₃	Surco acolchado regado después de 3 horas
AR ₆	Surco acolchado regado después de 6 horas
AR ₉	Surco acolchado regado después de 9 horas
C1	Cuchilla 1 (Borde cortante recto)
C2	Cuchilla 2 (Borde cortante en forma "V")
C3	Cuchilla 3 (Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero de 1 cm de lado.)
C4	Cuchilla 4 (Borde cortante con dientes en forma de triángulo con ángulo recto base de 0.5cm y altura de 1cm)
C ₅	Planta de fresa con raíz recortada a 5 cm de longitud
C ₁₀	Planta de fresa con raíz recortada a 10 cm de longitud
CC	Suelo con humedad a capacidad de campo
CX	Cuchilla 1,2,3 o 4
E _{AB}	Energía requerida por el cortador al momento de tocar el suelo (J)
E _{CP}	Energía para corte de plástico (J)
E _{CPs}	Energía para corte de plástico y suelo (J)
E _{CS}	Energía obtenida a través de la altura del cortador en caída libre para corte de suelo (J)
E _P	Energía potencial convertida en el corte (J)
E _t	Energía total obtenida a través de la altura del cortador en caída libre para corte de plástico y suelo (J)
E _T	Energía total obtenida por integración en las gráficas de los ensayos de corte de plástico sobre suelo en texturómetro (J)
F1	Compactación 1. Suelo no compactado
F2	Compactación 2. Suelo compactado
FMP	Fuerza máxima alcanzada en el plástico correspondiente al punto de ruptura (N)
FMS	Fuerza máxima alcanzada en el suelo (N)
H1	Humedad del suelo a PMP
H2	Humedad del suelo a CC
M1	Masa 1 (0.6 kg)
M2	Masa 2 (0.8 kg)
M3	Masa 3 (1 kg)
P1	Plástico 1 (0.030 mm)
P2	Plástico 2 (0.023 mm)
PMP	Punto de marchitamiento permanente
PR	Deformación en el punto de máxima tensión (mm)
RX	Repetición 1,2,3,4, o 5

S1	Suelo franco – arcilloso
S2	Suelo franco – arenoso
SC	Planta de fresa sin corte en la raíz
SR	Surco sin acolchar previamente regado
V1	Velocidad 1 de cuchilla (1 mm/s)
V2	Velocidad 2 de cuchilla (10 mm/s)
ΔF	Fuerza en el tramo recto de la gráfica “fuerza – deformación” (N)
ΔX	Deformación en el tramo recto de la gráfica “ fuerza – deformación” (m)
L_0	Longitud inicial de la probeta (m)
$\Delta \ell$	Aumento de longitud del espécimen al aplicarle fuerza de tensión (m)
F_A	Fuerza en la posición A de máxima compresión del resorte
x_0	Compresión del resorte en la posición final C
x_f	Compresión del resorte de la posición inicial A

Letra	Significado
A	Area transversal de la probeta (m ²)
d	diámetro de alambre
D	Diámetro medio del resorte
D _i	Diámetro interior del resorte
E	Módulo elástico (Pa)
F	Fotoperiodo
g	Valor de la aceleración de la gravedad (m/s ²)
G	Fuerza máxima resistida (N)
h	Altura entre las posiciones A y B (m)
h	Altura de caída del cortador (m)
k	Constante elástica del resorte (N/m)
M	Plantas muertas
m	Masa del cortador (kg)
N	Número de espiras activas
R	Radio medio de las espiras
T	Termoperiodo
V	Plantas vivas
S	Tensión de rotura (Esfuerzo último a tensión, Pa)
e	Alargamiento unitario (%)

RESUMEN

En la búsqueda de reducir los costos del trasplante manual en el cultivo de la fresa, se propone y estudia la viabilidad del trasplante a raíz desnuda en suelo acolchado a punto de marchitamiento permanente (PMP), con riego sectorizado posterior, con el objeto de diseñar y construir una trasplantadora que realice el trasplante en las condiciones mencionadas.

Se realiza un estudio, donde las plantas de fresa son sometidas a estrés hídrico, para determinar el tiempo máximo permitido para que la nascencia no se vea afectada. También se estudia el corte parcial de raíz que facilite el trasplante mecánico. Existe diferencia significativa entre los tratamientos de riego aplicado después del trasplante a las 0, 3, 6 y 9 h. Es factible aplicar el riego después del trasplante dentro de 6h posteriores como máximo, sin embargo regar inmediatamente es lo más adecuado.

Se han estudiado diferentes combinaciones en el corte del film de plástico, haciendo intervenir los siguientes factores: tipo de cuchilla; velocidad de corte constante o caída libre; masa de la cuchilla cortadora; grosor del plástico; textura, humedad y compactación del suelo de asiento. Del estudio del proceso de corte de plástico sobre suelo, se ha deducido la influencia de esos factores en la calidad y eficiencia del corte, la energía requerida y el desplazamiento ocasionado hasta la rotura.

El corte con cuchilla dentada resultó más eficiente que las cuchillas de borde liso. Menor masa en el cortador permite, a velocidad apropiada, minimizar el requerimiento de energía para el corte y reducir la deformación del plástico. El suelo franco arcilloso

demanda mayor requerimiento de energía, pero necesita menor desplazamiento al punto de ruptura, pues presenta mayor efecto de contra cuchilla que el suelo franco arenoso. La humedad a punto de marchitamiento permanente (PMP), así como la compactación del suelo, favorecen también el proceso de corte.

Con base a los resultados obtenidos en los estudios antes mencionados, se ha diseñado y construido un prototipo de módulo de trasplante y un dispositivo de pruebas. Se evaluó el desempeño del cortador, gancho y pinza, componentes principales del módulo. El módulo presenta un comportamiento satisfactorio en términos generales, comprobando la viabilidad técnica del concepto propuesto.

Se concluye que los resultados de la investigación realizada aportan la solución técnica para la construcción de una trasplantadora de plantas de fresa a raíz desnuda sobre suelo acolchado.

RESUM

En la busca de reduir els costos del trasplantament manual en el cultiu de la maduixa, es proposa i estudia la viabilitat del trasplantament a arrel nua en sòl encoixinat a punt de marciment permanent (PMP), amb reg sectorizado posterior, amb l'objecte de dissenyar i construir una trasplantadora que realitze el trasplantament en les condicions mencionades.

Es realitza un estudi, on les plantes de maduixa són sotmeses a estrés hídric, per a determinar el temps màxim permés perquè la nascencia no es veja afectada. També s'estudia el tall parcial d'arrel que facilite el trasplantament mecànic. Hi ha diferència significativa entre els tractaments de reg aplicat després del trasplantament a les 0, 3, 6 i 9 h. És factible aplicar el reg després del trasplantament dins de 6h posteriors com a màxim, no obstant regar immediatament és el més adequat.

S'han estudiat diferents combinacions en el tall del film de plàstic, fent intervindre els factors següents: tipus de fulla; velocitat d'estil constant o caiguda lliure; massa de la fulla talladora; grossor del plàstic; textura, humitat i compactació del sòl d'assentisc. De l'estudi del procés de tall de plàstic sobre sòl, s'ha deduït la influència d'eixos factors en la qualitat i eficiència del tall, l'energia requerida i el desplaçament ocasionat fins a la ruptura.

El tall amb fulla dentada va resultar més eficient que les fulles de vora llisa. Menor massa en el tallador permet, a velocitat apropiada, minimitzar el requeriment d'energia per al tall i reduir la deformació del plàstic. El sòl franc argilós demanda major requeriment d'energia, però necessita menor desplaçament al punt de ruptura,

perquè presenta major efecte de contra fulla que el sòl franc arenós. La humitat a punt de marciment permanent (PMP), així com la compactació del sòl, afavorixen també el procés de tall.

Amb base als resultats obtinguts en els estudis abans mencionats, s'ha dissenyat i construït un prototip de mòdul de trasplantament i un dispositiu de proves. Es va avaluar l'exercici del tallador, ganxo i pinça, components principals del mòdul. El mòdul presenta un comportament satisfactori en termes generals, comprovant la viabilitat tècnica del concepte proposat.

Es conclou que els resultats de la investigació realitzada aporten la solució tècnica per a la construcció d'una trasplantadora de plantes de maduixa a arrel nua sobre sòl encoixinat.

SUMMARY

Searching to reduce the costs by hand transplantation in the strawberry culture, a study of the viability of transplant on ground quilted at dry point with later sectored irrigation has been proposed, with the intention to design and construct a transplanter that could transplant in the mentioned conditions.

A study was made where the strawberry plants were put under four treatments of hydric stress to determine the maximum time allowed so that the germination is not affected. Partial root cutting was also studied in order to facilitate mechanical transplant. Significant difference was found between treatments of irrigation applied after the transplantation to 0, 3, 6 and 9 h; irrigation until 6 h is possible, however immediately one recommend is.

Two options of cut with descendent blade were studied: slow cut (in texturometer analyzer) and free fall cut, in order to understand the phenomenon of cutting plastic on ground, and process variables relation (different cut blades, cutter mass, plastics, grounds, humidities, compactions and cut speeds) with cut quality and efficiency, evaluated in terms of required energy and depth reached until plastic point cut.

Cut with toothed blade required less energy and displacement to the break point, that the blades of smooth edge. Smaller mass in the cutter allows, at appropriate speed, to obtain satisfactory cut with smaller energy requirement and cut depth. The thin - argillaceous ground demands greater requirement of energy, but needs smaller displacement to the break point because it presents greater effect of

against-blade than the thin - sandy ground. Humidity at dry point and soil compaction as well as kindness cut process.

With obtained parameters the transplant module was constructed and a tests device as well. Performance of main components of the module: cutter, hook and clamp were evaluated, resulting satisfactory according to established criteria.

A research carried out verifies technical feasibility of proposed transplant process. Module of transplanter of plants bare root over polyethylene film, constructed according to experiments results, satisfies the mechanized transplant requirements.

Capítulo 1

Introducción

1 INTRODUCCIÓN

1.1 IMPORTANCIA DE LA FRESA EN MÉXICO Y ÁMBITO INTERNACIONAL

México, país con diversidad climática, tiene la capacidad de producir en el sector agrícola; granos, frutas y hortalizas. La región central (Bajío) de la nación es conocida como el granero de México, y por muchos años lo fue, hasta que más al norte en zonas colindantes con Estados Unidos de Norte América comenzó con mayor auge el cultivo de las gramíneas. Esto en parte obligó a los agricultores del bajío a optar por cultivos como frutas y hortalizas que también pueden ser desarrollados en la zona.

En el estado de Guanajuato ya se cultivaba fresa por lo que con esta tendencia el cultivo adquirió mayor relevancia, de manera específica en la ciudad de Irapuato por el año 1980 el comercio con este fruto despertó especial interés entre productores que anteriormente solo cultivaban granos. Comienza así la bonanza de los freseros del centro del país llevando fresa fresca no solo a los demás estados de la república sino a Estados Unidos de Norte América y Canadá, países donde en invierno con climas extremos los sistemas tradicionales del cultivo no permiten la producción. En esos países a finalizar el invierno e inicios de la primavera las plantas de fresa emergen de su letargo comenzando una vigorosa producción, ya que las horas frío adquiridas resultan en mayores rendimientos, reduciéndose la importación de fresa por los países vecinos. Durante la primavera e inicios del verano la comercialización se reduce a los estados de la república Mexicana.

México figura entre los principales países productores en el ámbito internacional (Fig. 1.1) y en 2006 destinó poco más de 6000 ha al cultivo (Fig. 1.2) distribuidas entre los principales estados productores (Fig. 1.3); Michoacán, Baja California y Guanajuato (en orden de importancia). Sin embargo comparado con los líderes en producción sus tasas de rendimiento son bajas, al menos en el último estado mencionado. Hay una explicación válida; el nivel de tecnificación, mientras en otros países los centros de investigación han decidido apoyar el desarrollo tecnológico del cultivo mejorando los sistemas de producción en cuanto a prácticas agrícolas, controles sanitarios, nuevas variedades resistentes y de alta producción, en México la agricultura en general ha tenido poco desarrollo comparado con lo que se ha logrado en otras regiones del Mundo. Esto genera que productores agrícolas mexicanos con pocos conocimientos técnicos y administrativos compitan en desigualdad de condiciones con productores de Estados Unidos de Norte América, España e inclusive Koreanos, que en últimos años ha repuntado en los índices de producción (Fig. 1.4).

Fuente: <http://faostat.fao.org/>

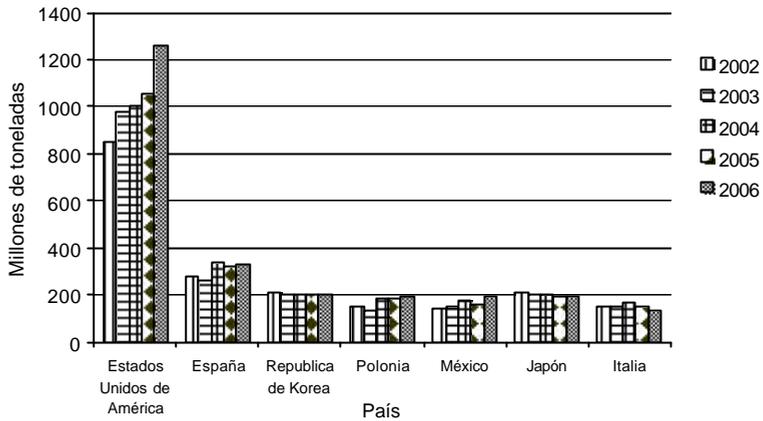


Fig. 1.1 Historial de producción de los principales países productores de fresa

Fuente: <http://faostat.fao.org/>

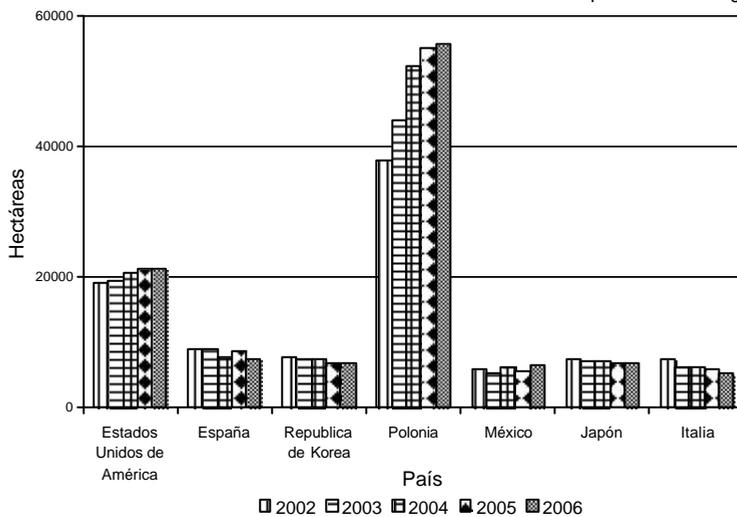


Fig. 1.2 Historial de siembras en los principales países productores de fresa

Fuente: <http://www.sagarpa.gob.mx>

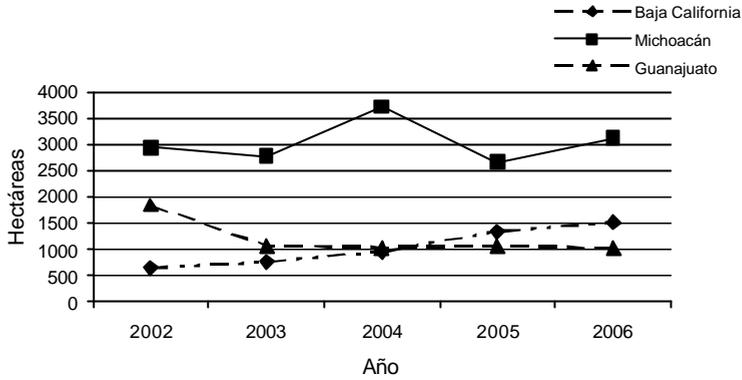


Fig. 3 Historial de siembras para los principales estados productores de Fresa en México

Fuente: <http://faostat.fao.org/>

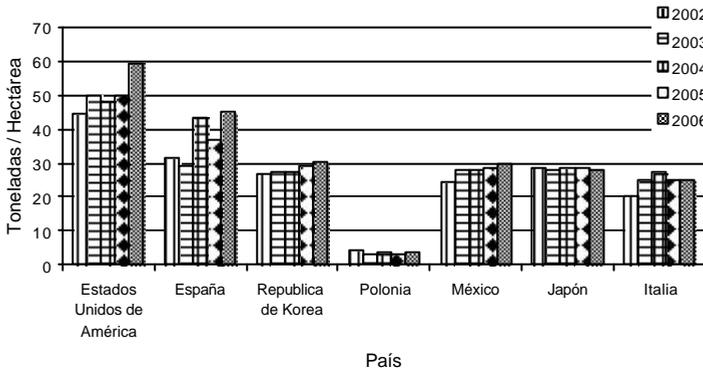


Fig. 1.4 Historial de rendimiento de los principales países productores

El cultivo de la fresa para México representa el empleo de un gran número de personas durante un largo periodo de tiempo, que inicia al entrar el otoño comenzando con el trasplante y concluye al final de la primavera y principios de verano, con las últimas recolecciones de fruta. Además genera divisas por exportaciones, empleos por distribución y transformación en una amplia variedad de productos derivados, comercio por venta de planta para producción etc. Algunos centros de investigación como el INIFAP

(Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) han desarrollado sus propias variedades de fresa que logran producciones no tan altas como las creadas por la Universidad de California pero que se adaptan bien a las zonas donde se desarrolla el cultivo.

México segundo productor del continente Americano y quinto a Nivel mundial ha mantenido en los últimos 5 años la superficie dedicada al cultivo, pero se ha experimentado un reacomodo hacia zonas productoras más adecuadas para su desarrollo, específicamente disminuyeron en el estado de Guanajuato y aumentaron en los estados de Baja California y Michoacán. En 12 de los 32 Estados de la República se registra producción, los 3 más representativos son: Michoacán, Guanajuato y Baja California en conjunto suman el 90% de la superficie y más del 85% de la producción. Actualmente el Valle de Zamora en Michoacán es la zona que más destaca, obteniendo fruta extra-temprana para ser exportada al vecino país del norte principalmente como fruta congelada, la Fig. 1.5 muestra la distribución.



Fig. 1.5. Estados productores de fresa en México en 2002.

Baja California en los últimos años comenzó a destacar debido a un fuerte impulso del cultivo en la zona, siguiendo la corriente californiana, logrando en 2002 un rendimiento por encima de las 40 t/ha, similar al de EUA y España, como es de imaginar la cercanía a la frontera americana hace que su producción sea potencialmente de exportación para cubrir el nicho de mercado que se genera en la época invernal en el vecino país. Por esta misma razón se pasó de producción a baja escala para un pequeño mercado en 1950, a un cultivo con visión empresarial para exportación.

Algunos viveros donde se desarrolla material vegetal para trasplante se encuentran en los Estados de Michoacán y Aguascalientes pero su producción representa tan solo el 1% del total, la mayor parte se adquiere directamente de distribuidores que

desarrollan las variedades de la Universidad de California y la comercializan en el país.

México dedica modestas cantidades a la investigación para el desarrollo tecnológico del cultivo, por lo que las pequeñas innovaciones están desfasadas con respecto de los principales productores. En el caso específico de Guanajuato la gran mayoría de fresa se cultiva aún a campo abierto, sin acolchados, e inclusive con riego por gravedad en algunos lugares, por lo que queda clara la necesidad de modernización tecnológica.

Una hectárea dedicada a la fresa en México tiene costos cercanos a USD \$ 6500 (Según el Consejo Nacional de la Fresa A.C.), que se incrementan conforme se desee aumentar la producción, ya sea con más y mejores fertilizantes, variedades de mayor vigor, sistemas de riego, etc. Sin embargo la cultura de inversión en nuevas y mejores tecnologías no es una opción bien desarrollada en la agricultura mexicana, por lo que los rendimientos son bajos comparativamente con otros países. Si además se involucran los factores de mercado que el grueso de los agricultores poco conocen, dejando el negocio en manos de intermediarios quienes inclusive en ocasiones obtienen mejores ganancias que el productor sin la necesidad de realizar grandes inversiones, a los reducidos márgenes de ganancia por baja rentabilidad las ganancias netas obtenidas por los freseros no presentan un negocio alentador.

Dos opciones claras tienen los freseros mexicanos; incrementar los rendimientos y/o disminuir los costos de producción. La primera se vislumbra compleja pues si bien existen paquetes tecnológicos a la mano de agricultores que con esfuerzos y recursos escasos han

hecho los científicos en México, no se ha roto el paradigma en el sector agropecuario de que Ingenieros preparados para implementar soluciones a problemas agrícolas van a enseñar a quienes por años se han dedicado al desarrollo del cultivo, aumentando la desvinculación de los sectores educativo y productivo. La segunda tiene más que ver con asuntos administrativos y es una de las áreas que mayor falta hace al agricultor quien año con año ve con desagrado como sus activos se reducen y sus deudas crecen sin explicaciones evidentes. Cualquier beneficio neto que reduzca costos de producción acortará la brecha que separa a los empresarios agrícolas con altos ingresos de aquellos que ven en la agricultura no un medio de hacer dinero sino de sostenimiento al no tener otras habilidades que les permitan llevar una vida modesta.

1.2 EL TRASPLANTE DENTRO DEL CULTIVO

De manera similar que en otros cultivos el mayor costo de producción es la mano de obra, para el caso específico de la fresa las actividades de plantación y recolección demandan la mayor cantidad. En campo la densidad de plantación varía entre 50.000 y 70.000 plantas / ha y la capacidad del trasplante manual y operaciones complementarias supone entre 2500 y 3000 plantas / día - hombre, por lo que es necesario un equipo de al menos 20 personas para trasplantar 1 ha/día. Aunado al costo que representa la cuadrilla de trabajadores hay que tener en cuenta dos problemas sociales, que no son particulares de México, la disponibilidad de mano de obra capacitada en la región y la tarea de contar con ellos en tiempo y circunstancias que muchas de las ocasiones generan problemas extras no previstos por los agricultores.

Si bien grandes avances en la agronomía del cultivo se han logrado al día de hoy, la mecanización del cultivo ha tenido pocas mejoras, por no decir ninguna en el caso de México pues las únicas labores mecanizadas se reducen a labores primarias de preparación de suelo y combate de malezas por medios mecánicos en la fase primera de desarrollo del cultivo. En Norte América y Europa se han realizado esfuerzos para mecanizar la recolección sin embargo la producción escalonada limita con mucho los progresos. Investigaciones para desarrollar variedades que permitan la recolección en un solo paso han rendido algunos frutos. En la figura 1.6 se muestra una máquina que se basa en el principio de las vendimiadoras para la recolección de fresa en un solo paso, otras cuyo principio es el de asistir en la recolección se muestra en la figuras 1.7 y 1.8.



Fig. 1.6 Cosechadora de fresa.
Dr. G. Colorio (Roma Italia)



Fig. 1.7 Recolección asistida en fresa



Fig. 1.8 Recolección asistida con banda de empaque

El trasplante mecanizado en otros cultivos ha logrado grandes avances sobre todo para plantas en cepellón (Plantas desarrolladas en bandejas con suelo que alojan la planta, Fig. 1.9). Para plantas a raíz desnuda que se colocan en campos a cielo abierto desde la década de los 40's la solución fue dada por una trasplantadora de discos convergentes flexibles que depositan la planta en el suelo abierto por una reja abre surco y acto seguido una rueda compactadora cierra y comprime las raíces de la planta (Fig. 1.10). Sin embargo en los nuevos sistemas de producción forzada donde el suelo es cubierto por plástico (acolchado) las trasplantadoras tradicionales para plantas a raíz desnuda no operan, por lo que, paralelamente al desarrollo de tecnología para el crecimiento de plantas en cepellones, se desarrollaron nuevas trasplantadoras aptas para esas condiciones de trabajo (Fig. 1.11).



Fig. 1.9 Plantas de fresa a desarrollarse en cepellón



Fig. 1.10 Trasplantadora de discos flexibles



Fig. 1.11 Trasplantadora de cepellones para suelos acolchados

1.2.1 MÉTODOS DE PROPAGACIÓN DE LA FRESA

La fresa se multiplica a escala comercial por vía vegetativa (propagación agámica) a través de los estolones emitidos por plantas desarrolladas con esta vocación (Plantas *madre*) en viveros especializados que darán origen a nuevas plantas, llegándose a obtener hasta 100 de ellas (Fig. 1.12). Esta forma de propagación permite obtener características idénticas a aquella que le dio origen, lo cual no sucede con la propagación por vía sexual (a través de semilla) que obtiene nuevos individuos con genética diferente, por lo que este método se usa sólo para la investigación de nuevas variedades, a excepción de algunas que no producen estolones y su propagación es por semilla.

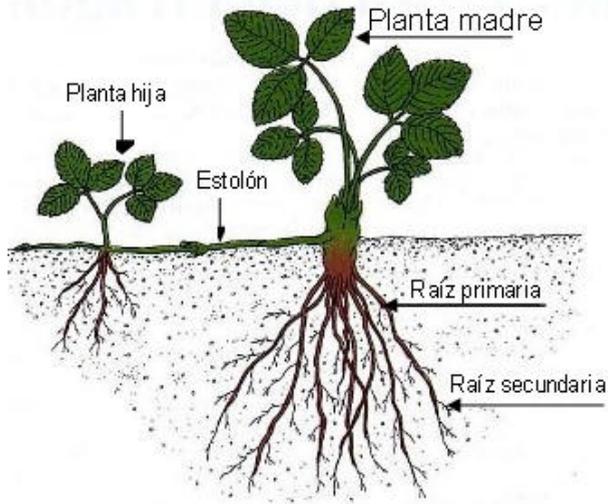


Fig. 1.12. Forma de propagación de la fresa

Tal forma de propagación obliga a trasladar las nuevas plantas hacia campos donde se realiza su fructificación. Esto, presenta algunas desventajas de tipo agronómico y práctico, por lo que la investigación se ha enfocado al desarrollo de nuevas técnicas. Una de ellas es la micro propagación "in vitro". Los primeros ensayos con esta alternativa datan de mediados de la década de los setenta con resultados en aquel tiempo prometedores por lo que este procedimiento fue asumido con interés por los viveristas Europeos. Eran evidentes las enormes ventajas frente a la producción tradicional de plantas en vivo, ya que permitía el saneamiento del material vegetal y tasas de multiplicación elevadas, tras su aclimatación *ex vitro* de plantas productoras de fruto. Sin embargo, comenzaron a observarse anomalías fisiológicas, fenotípicas y morfológicas con sus consecuencias respectivas en los campos de fructificación, cuestionándose el uso de esta técnica que fue abandonada por la mayoría de viveristas, cayendo en una pobre reputación. Así la producción italiana que era ya de varios millones

de plantas en ese periodo se redujo a solo decenas de miles a finales de los ochenta (López-Aranda, 2003-1), por citar un ejemplo. Las dudas sobre las anomalías del material vegetal micro propagado aún persisten, desde finales de los ochenta se buscan alternativas para la producción. Por ejemplo, una etapa de iniciación in vitro de una sola planta en condiciones ideales y su macro propagación con métodos convencionales. España desde esa fecha destina recursos a la investigación para el desarrollo de alternativas técnicas seguras con el claro objetivo de no depender de la importación del casi 100% de plantas madre de los Estados Unidos de América usadas en el método tradicional de propagación. Se han logrado importantes avances a niveles de eliminar las anomalías antes mencionadas, no obstante esta práctica sigue desprestigiada en el sector comercial por causas reales o imaginarias.

Otra alternativa de propagación, más segura que la tradicional, es por plantas colocadas en bandejas con alvéolos de turba que han sido obtenidas de plantas madre desarrolladas en cultivo fuera de suelo o bien de plantas madre frescas de vivero en condiciones ideales. En este mismo contexto la más reciente alternativa de producción de fruto fuera de suelo (hidroponía) desarrollada en Bélgica y Holanda principalmente y posteriormente adoptada por Francia e Italia, se ha probado en España con resultados alentadores (López-Aranda, 2003-2). Los niveles de producción, calidad y seguridad que se logran con estas técnicas, frente a la tradicional, son evidentes solo que resultan varias veces más costosas en tiempo y recursos por lo que su uso es limitado.

Tomando en cuenta estas formas de propagación es conveniente describir los diversos sistemas de producción con el objeto de

puntualizar y aclarar la decisión entre una y otra, y que diferencian la forma de trasplante.

1.2.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

A mediados de los años cincuenta comienza una fuerte investigación en Estados Unidos de Norte América y Europa para el desarrollo de variedades, a saber, existen más de mil registradas, pero sólo algunas son explotadas comercialmente, debido a sus cualidades de producción. Dos propiedades forman la base para su clasificación varietal; Fotoperiodo (F) y Termoperiodo (T), el primero indica la cantidad de horas luz necesaria para su correcto desarrollo y el segundo la cantidad de horas a calor idóneo a las que se ve sometida la planta para el mismo fin. Debido a esto, se han clasificado convenientemente en variedades de día corto (dependen de F principalmente) y de día neutro (dependen de T más que de F),

Los sistemas de producción además de la variedad son influenciados por el tipo de planta que se produce, las cuales son:

- ✓ Planta frigo-conservada comúnmente llamada “Frigo” que es de plantación estival, típico del estado de California en Estados Unidos de América.
- ✓ Planta fresca en reposo vegetativo conocida como “Winter system” de plantación otoñal, habitual en la zona de Huelva en España y México.
- ✓ Planta fresca en actividad vegetativa “Green plants” de plantación estival con hojas, propio del estado de Florida en USA.

- ✓ Planta engrosada en vivero o planta para recolección programada “Waiting bed”, característico de Holanda y Bélgica.
- ✓ Plantas enmarañadas “Matted row”, usado al este de USA y muy difundido en Canadá.
- ✓ Planta con cepellón “Plug plants”, popularizados en Francia e Italia y de interés para ser implantados en España.

La conjunción de variedades, tipos de plantas y tecnología de cultivo, dan origen a los diversos sistemas comerciales de producción, de los cuales permanecen como básicos:

- ✓ Sistema tradicional de fila continua o enmarañada de carácter plurianual.
- ✓ Cultivo anual en lomos o cultivo anual de planta singular (anual hill).
- ✓ Cultivo fuera de suelo.

La elección de uno de ellos requiere considerar gran cantidad de variables adicionales, entre otras podemos mencionar: la zona donde se desea desarrollar, técnicas agroambientales, intensidad del cultivo, factores de mercado, técnicos, económicos, etc. Dentro de estos sistemas comerciales a su vez existen técnicas de forzado, que persiguen la producción con altos rendimientos por medio del uso de coberturas de polietileno y otros compuestos de origen orgánico que dan una aproximación a las condiciones óptimas del cultivo, las principales son:

- ✓ Acolchado
- ✓ Microtúneles
- ✓ Macrotúneles

✓ Invernaderos

Tomando en cuentas las variables mencionadas es posible describir con mayor claridad el o los sistemas de producción para cada región. Mencionaremos a continuación el más difundido en España que con algunas diferencias se está adoptando lentamente en México.

Las principales variedades son de origen californiano y los tipos de plantas usados son; planta fresca en reposo vegetativo (Winter system) de plantación otoñal y planta frigo-conservada de plantación estival. El sistema de producción es de cultivo anual en lomos de planta singular (annual hill) usando técnicas de forzado de acolchado al aire libre, con microtúnel y macrotúnel. A continuación describiremos la fisiología de desarrollo para plantas de día corto, a la cual pertenecen las del tipo; frescas en reposo vegetativo que son las más usadas para la producción de fruto en los países mencionados.

En verano, periodo con influencia de días largos y elevadas temperaturas la planta madre crece y se multiplica. Para que exista un buen desarrollo de la nueva planta es necesario satisfacer su demandas de horas frío contadas aquellas por debajo de los 7° C por lo que se siembra en lugares con altitud mayor a 800 m sobre el nivel del mar, no siendo igual para todas las variedades, condiciones propias de la región Castilla la Mancha donde se ubican la mayoría de viveros para este propósito. En otoño al disminuir la temperatura y comenzar días cortos se paraliza progresivamente el crecimiento, dándose una acumulación de reservas en las raíces, entrada en latencia é iniciación floral. En invierno con la paralización total del crecimiento se logra la mayor

acumulación de frío, necesario posteriormente por la planta para la salida de latencia. En primavera con la elevación de las temperaturas y el alargamiento progresivo de los días, aparece una reanudación de la actividad vegetativa, floración y finalmente fructificación.

1.2.2.1 DESARROLLO DE LA PLANTA EN VIVERO

La fisiología antes mencionada permite la *separación* de las plantas hijas de la madre (Fig. 1.13), para ser trasplantadas en lugares donde la primavera es especialmente cálida (pocos metros sobre el nivel del mar).



Fig. 1.13 a) Trasplante de planta madre.



Fig. 1.13 b) recolección de plantas.

El viverista separa oportunamente las plantas hijas y las prepara para ser enviadas a los campos de fructificación. Forma grupos (atados) de 20 plantas aproximadamente, los coloca dentro de un contenedor de polietileno (600 x 400 mm) con capacidad de almacenar hasta quinientas de ellas (Fig. 1.14), lo cual permite llevar más de un millón de una sola vez en los medios comunes de transporte. Considerando una densidad de plantación en campo de entre 55,000 y 60,000 plantas/ha, se tendrá material vegetal suficiente para cubrir varias hectáreas.



Fig. 1.14. Preparación de plantas en vivero. a) atado.



Fig. 1.14. Preparación de plantas en vivero. b) contenedor de polietileno.

Caso contrario cuando se maneja planta desarrollada en turba, donde las plantas son separadas de la planta madre prematuramente y colocadas en bandejas alveoladas, permaneciendo allí por 45 días aproximadamente, mejorando así las condiciones de desarrollo, posteriormente son llevadas a zonas de trasplante (Fig. 1.15). Como resultado y a comparación del sistema tradicional los costos se elevan, tanto de mano de obra así como de transporte, entrando a cuestiones de tipo económico donde los agricultores poco pueden hacer ante lo inalcanzable que pueden resultar estas alternativas, además de la necesaria planeación entre agricultores y viveristas para prever la cantidad de material vegetal a utilizar, tiempos, etc. Es importante mencionar que la consolidación del sistema viverista acerca cada vez más dichas tecnologías a niveles comerciales competitivos, sin embargo, aún las condiciones en este cultivo no están dadas para su completa adopción.



Fig. 1.15 a) colocación de la planta en bandejas con turba.



Fig. 1.15 b) vivero en producción.



Fig. 1.15 c) Plantas con desarrollo suficiente para ser trasplantadas a campo de fructificación.

1.2.2.2 LABORES PREVIAS AL TRASPLANTE

Como en cualquier cultivo se busca homogenizar el terreno por las modificaciones sufridas en la campaña anterior, los aperos a usar dependen del tipo y profundidad de la labor que se desea realizar: subsolador, arado, grada de discos. Posteriormente se procede a una nivelación del terreno que tiene especial relevancia en campos donde se utiliza riego por goteo, paralelamente es común la incorporación de abonados de fondo y enmiendas orgánicas procesadas o no procesadas.

La labor de desinfección para eliminación de hongos, nemátodos, malas hierbas, etc., es de vital importancia, sin ella, difícilmente se alcanzarían los niveles de producción actuales. Dentro de las modalidades de desinfección existen las físicas, químicas o combinación de ambas. De las primeras destacan: vaporización, solarización, biofumigación, solarización más biofumigación (Medina, 2003-1). La aplicación de bromuro de metilo, elemento que más destaca en la segunda opción, con su capacidad biocida logra un importante saneamiento en campo. España y USA pusieron especial énfasis en este hecho y desde que se constituyó el Protocolo de Montreal por la Comunidad Internacional para la sustitución del químico en 2005 se buscó el desarrollo de alternativas, sin embargo aún no son directamente aplicables a la agricultura intensiva. Cloropicrina, metam sodio, metam potasio y otros productos químicos son usados como complementarios. La combinación de solarización con los productos químicos antes mencionados forma la modalidad físico-química, la cual se practica con éxito. Es común en explotaciones de producción intensiva aplicar agentes químicos y posteriormente colocar coberturas de polietileno transparentes, favoreciendo la solarización, por cierta cantidad de días logrando un satisfactorio saneamiento del suelo.

Por último, la formación del alomado donde paralelamente se efectúa la colocación de cobertura de polietileno, cintilla de riego, agregado de micro-gránulos y/o productos químicos (Fig. 1.16). Es de uso generalizado la formación del caballón para dos líneas de plantas resultando en una forma trapezoidal desde el nivel del pasillo, con longitud superior e inferior de 50 y 60 \pm 5 cm., respectivamente y altura de 30 cm. El grosor del film varia, entre 20 y 40 micras y anchura de 1.3 a 1,5 m, la coloración del mismo toma el rango de los oscuros donde el fin primordial es captar la cantidad

de calor que demanda el cultivo y por otra parte reducir la generación de malas hierbas (Medina, 2003-2).



Fig. 1.16 Formación del alomado, colocación de cobertura de polietileno, cintilla de riego y aplicación de productos químicos.



Fig. 1.17 Cosecha de plantas y confección para ser enviadas a campo.

1.2.2.3 DESARROLLO DE LA PLANTA EN CAMPO DE PRODUCCIÓN

A las plantas antes de ser enviadas a los campos de fructificación se les eliminan las hojas casi en su totalidad, además de cortar los tallos dejando solo unos pocos centímetros (Fig. 1.17), con el fin de disminuir el desarrollo vegetativo de forma temporal, no siendo igual con todo tipo de plantas, como las desarrolladas en cepellón o las “green plants”, donde se busca el rápido desarrollo, por lo que el

tiempo entre la separación y plantación es crucial. Ya en campo, previo al trasplante, es común realizar un ligero recorte a las raíces con el fin de homogenizar la longitud de éstas, entre 10 y 12 cm., sin gran daño (Duval y Goleen, 2002., Gutiérrez C. 2006). Facilitando su introducción en el suelo, debido a esta acción la planta sufre aún más de estrés, por lo que debe ser colocada lo antes posible en campo.

Es posible encontrar coberturas de polietileno ya perforadas o bien realizar la perforación poco antes de la labor. Las razones de elección entre una y otra son aprovechar al máximo los desinfectantes aplicados durante la formación del caballón, seleccionando aquellos de cobertura íntegra para posteriormente realizar el corte que se suele hacer con; punzón perforador, por calentamiento, o bien, en trasplantadoras semiautomáticas que trabajan con cepellón es el mismo mecanismo distribuidor que con borde cortante lo realiza. Otra razón se puede encontrar en aquellas explotaciones donde el campo es cubierto en su totalidad, por lo que la previa confección no es recomendable (Fig. 1.18).



a) perforación por punzón



b) perforación por calentamiento.

Fig. 1.18. Perforación en suelo cubierto de forma total



Fig. 1.18. c) cobertura total del suelo. (Imágenes de Tosi, 1995)

Ahora se está en condiciones para colocar la planta, en el caso de aquellas contenidas en cepellón es posible realizarlo mecánicamente ya que existen en el mercado trasplantadoras que trabajan sobre coberturas de polietileno, en el siguiente capítulo se tratará este tema. Para plantas a raíz desnuda la plantación es; manual en su totalidad o bien auxiliada por una pequeña herramienta, cuya función principal es el enterrado de las raíces en el suelo (Fig. 1.19), ya que no existe una trasplantadora comercial para plantas a raíz desnuda que trabaje sobre suelos acolchados. Aunque algunas casas productoras manifiesten que las trasplantadoras que comercializan pueden colocar plantas a raíz desnuda, no es una realidad para el caso de la fresa.



Fig. 1.19. a) colocación de planta de forma manual total.



Fig. 1.19. b) *Pincho* para enterrado de raíces .



Fig. 1.19. c) *Forcchetta* para el mismo propósito.

En la figura 1.20 se observa el uso de otra herramienta utilizada por freseros italianos llamada *Trapiantatoio*, para suelos de difícil perforación donde previamente se hace un pequeño hoyo facilitando la introducción de la raíz con la *forcchetta*.



Fig. 1.20 **Izquierda**, *Trapiantatoio* y *Forchetta*. **Centro**, Introducción de la raíz. **Derecha**, compresión manual de suelo vecino a la planta. (Imágenes de Tosi, 1995.)

El operario toma la planta por el tallo recostándola sobre el suelo, acto seguido coloca el *pincho* casi en el extremo longitudinal de la raíz, a continuación aplica fuerza para introducir la raíz en el suelo hasta el punto que la corona alcance la profundidad justa (Fig. 1.21). Demasiada profundidad pudrirá las yemas y en caso de profundidad superficial se secarán las raíces. Por último, se retira el pincho tratando de no modificar la posición vertical de la planta, además de comprimir el suelo vecino a la corona. Con esta acción se termina la labor de trasplante, ahora se esperará la reanudación vegetativa crucial para la planta.



Fig. 1.21 **Izquierda**, introducción de raíz. **Derecha**, profundidad necesaria

Es necesario comentar que en el sistema de cultivo hidropónico y/o del tipo sin suelo las técnicas antes mencionadas son totalmente

diferentes por lo que el trasplante en este caso resta importancia. Se registran pocas hectáreas bajo estos métodos para el caso de España (Fig. 1.22), sin embargo, se mencionan por el reciente interés de agricultores freseros Mexicanos. Dos subdivisiones se pueden encontrar: sistemas cerrados o abiertos, cuya característica principal es la recirculación de agua nutritiva o no, respectivamente. López (2003) menciona que los arreglos pueden ser:

- ✓ Bolsas de turba sobre caballones o pacas de material orgánico.
- ✓ Bolsas, túneles o canalones elevados con turba o material artificial (Fig. 1.23).
- ✓ Macetas sobre suelo o colgantes.
- ✓ Tubos colgantes

La disposición de los mismos puede ser en el plano horizontal, o bien distribuidos de forma piramidal con el objeto de aprovechar el espacio dentro del túnel. Entre la ventajas principales de este sistema podemos mencionar el control fitosanitario, residuos mínimos, ahorro de agua y tratamiento de la misma, potenciación de la producción por planta, mayor densidad de plantación por unidad de superficie y desde luego unas mejores condiciones de labor y ergonómicas para los operarios, muy marcadas en la recolección. La principal desventaja es el alto capital de inversión.

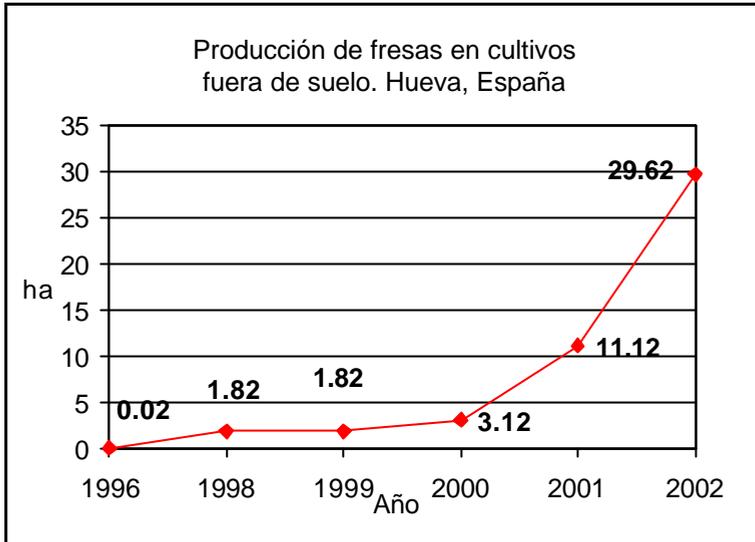


Fig. 1.22 Histórico de hectáreas dedicadas a la producción de fresas en sistemas del tipo sin suelo.



Fig. 1.23 Sistema cerrado de canalón colgante con material artificial de soporte radicular.

1.3 LA PERTINENCIA DE DISEÑO DE LA TRASPLANTADORA

A manera de resumen de este capítulo, elegir entre plantas desarrolladas en cepellón, que representaría para el agricultor posiblemente un menor costo al momento de que la biotecnología permita este método de propagación, o a raíz desnuda involucra factores de índole agronómica y no sólo el de costos que actualmente desaconsejan la primera opción para el caso de la

fresa, donde el sistema de producción tradicional se impone. Guarella (1992) comentaba la progresiva sustitución en la horticultura del sistema a raíz desnuda por el de cepellón. No obstante, aún no se tiene una solución viable que pueda ser difundida a los agricultores.

O'Dell, (1998) indicaba más viable la opción de desarrollo de plantas de fresa en cepellón que la construcción de una máquina trasplantadora sobre suelo con cobertura de polietileno, para los sistemas de producción americanos.

Otra opción es la de esperar a que el avance biotecnológico del cultivo permita el desarrollo de plantas en cepellón por el método de propagación *in-vitro* a gran escala, sin los problemas agronómicos ya comentados. Aunque han pasado ya muchos años sin que se tenga una solución de aplicación generalizada.

La última opción, de mayor inversión y menor accesibilidad para el común de los agricultores, es el desarrollo del cultivo en sistemas de producción forzada en hidroponía. Si bien esta alternativa representa grandes desembolsos iniciales para la construcción de invernaderos, maquinaria y equipo, los rendimientos que se logran pagan a mediano plazo tales inversiones teniendo desde luego administraciones eficientes al interior de la empresa.

En definitiva si se logra contar con una trasplantadora para plantas a raíz desnuda que opere sobre suelos con cobertura de polietileno, que supondría la reducción del número de personal dedicado a tal actividad, se reflejaría en la disminución de costos de producción del cultivo.

En el siguiente apartado se analizarán los principios mecánicos de las diferentes transplantadoras comerciales, para las diferentes presentaciones del material vegetal. Además se discuten patentes que no han llegado a la etapa comercial, todo ello con el objeto de tener un panorama amplio de la mecanización del trasplante antes de plantear una posible solución mecánica.

Capítulo 2

Antecedentes

2 ANTECEDENTES

Algunos cultivos son susceptibles de ser sembrados directamente en terreno de asiento o bien ser desarrollados en viveros o invernaderos, asegurando las primeras fases de crecimiento, para ser trasplantados posteriormente. En la horticultura el trasplante reviste vital importancia, pues permite mejorar los niveles de producción cuando se logran las condiciones ideales para el desarrollo de cada cultivo. Sin embargo respecto de la siembra presenta desventajas de diversa índole (Tabla 2.1) atribuibles a la especie que se maneja o a factores de producción. A pesar de ello son cada vez más los cultivos que se adecuan a esta práctica.

Ventajas	Desventajas
Mayor aprovechamiento de semillas híbridas de coste elevado.	Adaptabilidad del cultivo a esa práctica
Superación de la etapa crucial de nascencia.	Estrés hídrico en el sistema a raíz desnuda
Protección contra climas adversos.	Mayor cantidad de mano de obra
Precocidad y control de crecimiento así como flexibilidad en la producción.	Mayor costo económico y energético para el desarrollo de las plantas.
Mayor uniformidad vegetativa, de nascencia, rapidez y calidad.	Maquinaria especializada para el trasplante y problemas de adaptación
Ahorro en labores culturales, riego, insecticidas, plaguicidas y de ejecución más sencilla.	
Menor permanencia del cultivo en campo	
Sitios especializados para el desarrollo de plantas.	

El inicio del trasplante se remonta a la selección de plantas por pequeños viveristas que aseguraban una producción aceptable, lo que posteriormente interesó a la agricultura extensiva.

En España e Italia a principios de los setenta se comenzó a adoptar la opción del trasplante a la siembra en terreno de asiento, debido

en gran parte a la tendencia de nuevas tecnologías en la preparación de plantas en turba además de las que ya tradicionalmente se trasplantaban a raíz desnuda (Guarella y Perellano, 1986). Esta última suponía contemplar la aptitud de las diversas especies a ser trasplantadas, costos, la dificultad en la preparación de la planta y el porcentaje medio de arraigo. Es de saber que las solanáceas no reclaman cuidados particulares. Otras especies requieren operaciones de fácil ejecución, como recorte de hojas, raíces, o ambas, caso de la fresa (rosácea). Aquellas hortalizas que necesitan conservar el sistema radicular íntegro y les sea difícil reconstruirlo después del trasplante, como las cucurbitáceas, se reproducen preferiblemente por semilla.

La competitividad productiva con la nueva tecnología indicaba una mecanización de la labor, comenzándose los primeros diseños de máquinas trasplantadoras para plantas en cepellón y la adopción de otras ya desarrolladas desde años anteriores en los Estados Unidos de América. No es hasta la consolidación del vivero como unidad autónoma y especializada para producción de plantas hortofrutícolas que la necesidad de crear máquinas capaces de operar con las nuevas innovaciones se hizo presente, marcando el antes y después del tema de trasplante, y por ende, de las trasplantadoras que actualmente conocemos.

Como en toda mejora tecnológica, aparecieron una serie de problemas antes de establecerse una solución general al trasplante, y más difícil en horticultura por la variedad de formas, tamaños, fisiología de plantas, etc. Pensar en una trasplantadora universal esta fuera de todo contexto e inclusive generalizar el manejo mecánico entre especies puede ser erróneo. Todo proyecto de diseño o de selección de una trasplantadora debe considerar

una serie de aspectos constructivos y funcionales (Guarella, P., Achille, A. 1990), pero antes de iniciar es necesario considerar el tipo de plantas que se desea manejar (Fig. 2.1); a) plantas a raíz desnuda, b) enraizadas en turba normal o comprimida en forma cónica, cilíndrica o piramidal dentro de bandejas (cepellón), c) enraizadas en substrato normal o comprimido con papel biodegradable *paper pot*. La primera en su forma natural, pero que es difícil de manejar mecánicamente por la delicadeza de las raíces y su morfología. La segunda, susceptible de ser “manipulada” como si fuese un objeto sólido en el sentido mecánico. La última agrega la ventaja, con respecto a la anterior, de poder suministrar el material de forma individual y continua al estar las plantas unidas en forma de cadena por el mismo papel dentro de la bandeja que las contiene, pudiendo ser separadas por corte o tracción al ser trasplantadas.

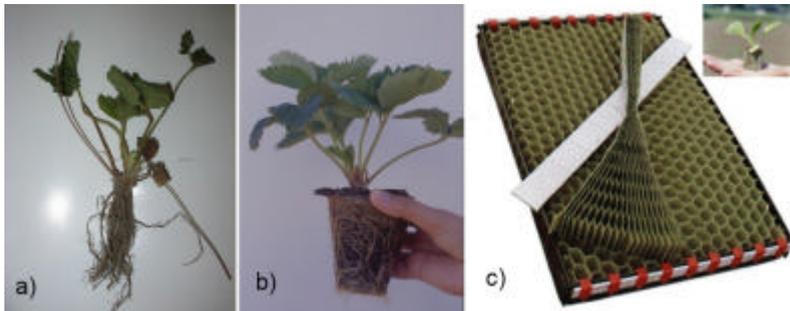


Fig. 2.1 Presentaciones del material vegetal a trasplantar: a) raíz desnuda, b) cepellón, c) contenida en “paper pot”

En cuanto a las exigencias de la labor para las máquinas trasplantadoras, podemos mencionar:

- ✓ Elevada capacidad de trabajo, suficientemente mayor de la que supone el trasplante manual. En plantas a raíz desnuda el tiempo transcurrido entre la separación de la

planta en vivero y su colocación en campo de fructificación debe ser minimizado, por lo que su ejecución debe ser eficaz y oportuna.

- ✓ Mínimo empleo de mano de obra, entendiéndose el equipo necesario para realizar la labor; operario(s) trasplantador(es) - alimentador de planta (o no) - tractorista.
- ✓ Polivalencia para trabajar si no con diferentes tipos de planta (raíz desnuda, cepellón, papel biodegradable) si con las subdivisiones que se pueden encontrar en el tipo de presentación de cada una de las mismas, por ejemplo; diferentes tamaños de bandejas para diferentes configuraciones de cepellón (cónico, piramidal, cuadrado, etc.).
- ✓ Fácil regulación de sus elementos mecánicos para poder trabajar a diferentes marcos de plantación y condiciones de suelos con consistencias diversas.
- ✓ Precisión de las distancia entre plantas y su correcta colocación de acuerdo a las demandas de la planta como; verticalidad y profundidad.
- ✓ Posibilidad de realizar labores paralelas diferentes del trasplante como; colocación de coberturas de polietileno, cintilla de riego, agregado de micro gránulos, etc.
- ✓ Costos accesibles y dimensiones adecuadas a las necesidades de campo como; macro túneles, superficies limitadas, zonas con diferentes prácticas de cultivo, etc.
- ✓ Ergonomía para los operarios y simplicidad de los elementos mecánicos de alimentación y/o distribución.

En el mismo contexto las trasplantadoras exigen al agricultor un perfil de suelo homogéneo con buena nivelación y condiciones de humedad favorables que faciliten la ejecución de la labor. Por otro

lado, prever las horas por año que tendrá oportunidad de trabajar, la disponibilidad de plantas en vivero, mano de obra, el número de cuerpos trasplantadores que satisfagan las exigencias propias, el nivel de mecanización de los mismos, la configuración de disposición entre ellos para obtener el distanciamiento correcto entre plantas son puntos importantes a considerar.

El trasplante mecánico consiste de varias fases sincronizadas; sencillas en lo individual, complejas en su conjunto. La presencia y combinación de dispositivos en sustitución de las correspondientes acciones manuales determina el nivel de mecanización. A continuación mencionaremos los procedimientos para colocar las plantas en el terreno, de la forma manual hacia la mecánica, haciendo una primera clasificación.

2.1 NIVELES DE TRASPLANTE

a) Trasplante manual

Deposición manual de las plantas desarrolladas en vivero sobre el terreno de asiento. Algunos cultivos hortofrutícolas se trasplantan a este nivel, principalmente aquellos de raíz desnuda que debido a sistemas de producción forzados se desarrollan en suelos con cobertura de polietileno donde se carece de maquinaria para ejecutar la labor (entre ellos la fresa). O bien en explotaciones pequeñas donde no se justifica la introducción de maquinaria.

b) Trasplante asistido por marcadores mecánicos

Estos marcadores realizan la perforación del lugar destinado a alojar la planta en el terreno de asiento

c) Trasplante asistido con distribuidores

La principal característica es la colocación de las plantas sobre un distribuidor mecánico que las transporta y sitúa en el suelo. Sin embargo, la colocación de ellas sobre el mismo es de forma manual.

d) Trasplante semiautomático

Desde un depósito, alimentado manualmente, el mecanismo distribuidor se provee de la planta y la transporta al suelo. Es posible por tanto para el operario atender varios distribuidores a través del mencionado depósito.

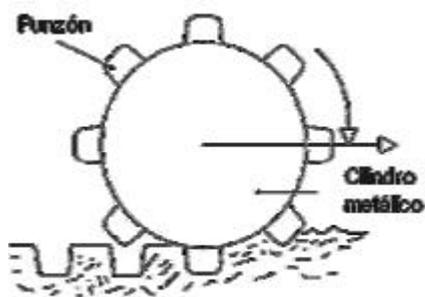
e) Trasplante Automático

En este nivel existen mecanismos que son capaces de tomar las plantas directamente desde las bandejas colocadas por un operario en un sitio diseñado para este propósito, y alimentar al distribuidor principal que las coloca en el terreno reduciéndose considerablemente la mano de obra. La máquina requerirá para su trabajo sólo dos operarios: conductor y proveedor de bandejas.

Las combinaciones tipo de planta (raíz desnuda o cepellón) y nivel de trasplante (asistido con marcadores, asistido con distribuidores, semiautomático o automático) define la variabilidad de modelos existentes al respecto. A continuación se realizará una revisión en base a los mecanismos de los que son provistas las trasplantadoras.

2.2 MECANISMOS MARCADORES O PERFORADORES

- ✓ **Rodillo marcador:** constituido por un cilindro metálico con marcadores excéntricos (punzones) a distancias preestablecidas sobre su superficie externa, que cavan un hoyo en el suelo donde el operario colocará posteriormente la planta a raíz desnuda o con cepellón. (Fig. 2.2)



a) principio de trabajo.



b) cavado de hoyos.

Fig.2.2



Fig.2.2 c) colocación de plantas.

(Imágenes b) y c) de Pasqualle, G. 1984)

- ✓ **Reja abre surco:** provista de un asiento para el operario el cual coloca la planta a raíz desnuda o con cepellón de forma manual en el surco, abierto por la reja, al aviso de un indicador acústico. Otras versiones confiaban en la sola sincronía del operario que llegaba incluso a alimentar dos líneas de plantado (Fig. 2.3).

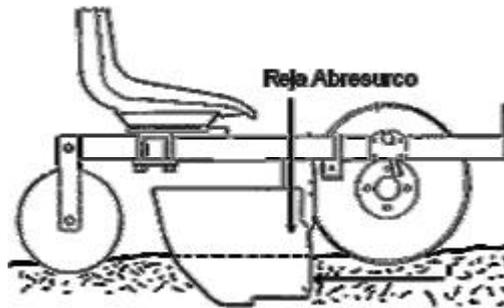


Fig. 2.3. a) principio de trabajo.



b) colocación manual de la planta



c) rueda motriz

Fig. 2.3. (Imágenes b) y c) de Pasqualle, G. 1984).

- ✓ **Perforador neumático:** objetivo similar al del rodillo marcador, cavar un hoyo por medio de un pistón accionado de forma neumática. A la vez agregar una cantidad predeterminada de agua y a continuación colocar la planta en cepellón de forma manual. Pocas trasplantadoras se basan en este principio. (Fig. 2.4)

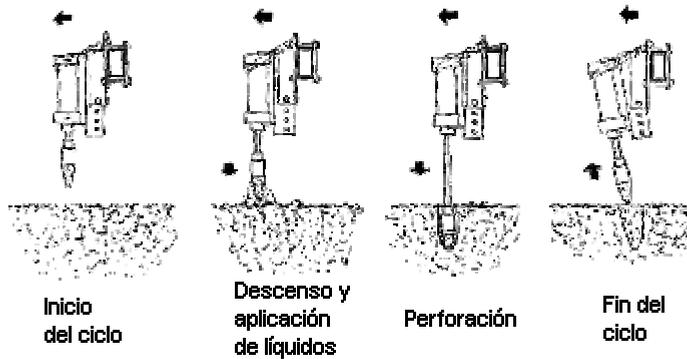


Fig. 2.4 Perforación neumática con aplicación de agua (Pat. ES2114367).

2.3 MECANISMOS DISTRIBUIDORES

- ✓ **Distribuidor de discos flexibles:** conocido como del tipo universal, usado principalmente para trasplante a raíz desnuda aunque puede ser usado con ligeros ajustes para cepellón. El operario coloca la planta manualmente con dirección radial en medio de dos discos convergentes, guiándose por unos indicadores fijados sobre los mismos a distancias regulares, para controlar así la distancia entre plantas. El distribuidor al girar en torno a un eje horizontal, perpendicular al avance, presiona los tallos transportando la planta consigo y liberándola sobre el terreno, cuando los discos se separan. Los materiales de construcción suelen ser de lámina o plástico flexible (Fig. 2.5).

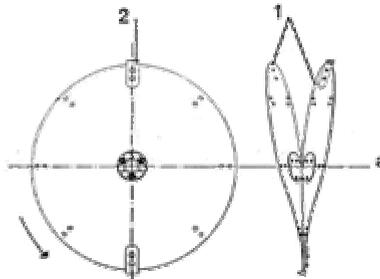


Fig. 2.5 a) vista de frente y lateral de un distribuidor de discos: 1 discos flexibles. 2 indicador para colocación de planta.

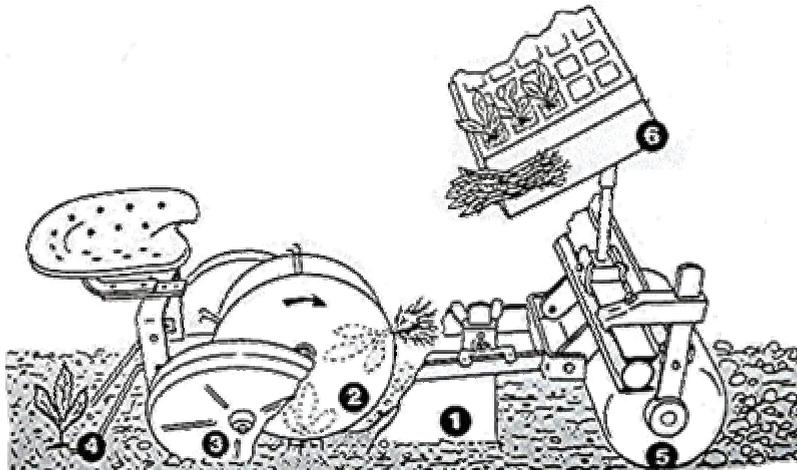


Fig. 2.5 b) esquema de funcionamiento de una trasplantadora de discos: 1) rejilla abre surco, 2) discos flexibles, 3) ruedas compresoras, 4) barras aporadoras, 5) compactador, 6) porta bandejas o raíces.



Fig. 2.5 c) Trasplantadora con depósito para abonos. (Imágenes a) y b) de Pasqualle y Perellano, 1990).

- ✓ **Distribuidor de pinzas prensoras** el principio de funcionamiento es muy similar al anterior. En la periferia de un disco rígido o sobre una cadena con brazos radiales se encuentran pinzas prensoras, donde el operario coloca manualmente la planta a raíz desnuda o con cepellón. El

cierre se realiza manual o mecánicamente por el distribuidor, encargado también de abrir la pinza para liberar la planta al llegar al suelo (Fig. 2.6).



Fig. 2.6 a) pinzas alrededor de un disco (Sfoggia Agricultural Division).

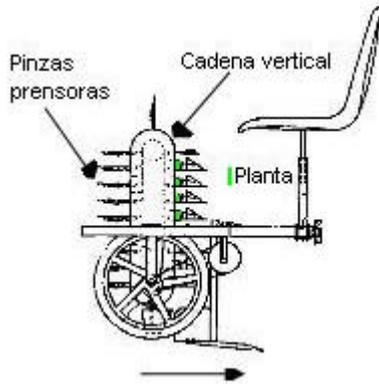


Fig. 2.6 b) Imagen de patente ES 2100110.



Fig. 2.6 c) pinzas alrededor de una cadena (Checchi & Magli).

- ✓ **Distribuidor de vasos rodantes en torno a un eje vertical:** el operario coloca las plantas, con cepellón principalmente, dentro de unos vasos, llamados así por su forma, que giran paralelamente en torno a un eje vertical. Estos tienen en el fondo un par de valvas, las cuales abren en forma automática y programada, que liberan la planta

por caída libre o por un mecanismo expulsor a través de un tubo aductor dejándola sobre el terreno. La ventaja principal resulta de colocar tantas plantas como sea posible sobre el distribuidor y no una a una, esto depende del número de vasos disponibles: desde 4 hasta 12 (Fig. 2.7).

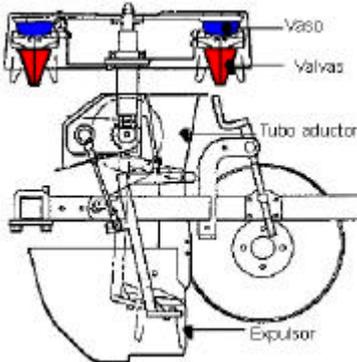


Fig. 2.7. a) vasos en torno a eje vertical con tubo aductor (Pat. US6394010).



Fig. 2.7.b) vista de planta de un distribuidor.



Fig. 2.7 c) trasplantadora en base a este principio (chechi & magli).

- ✓ **Distribuidor de vasos rodantes en torno a un eje horizontal:** los vasos dispuestos entre la periferia de discos o brazos son obligados a girar en posición vertical en sentido paralelo y dirección de avance del tractor, alrededor de un eje horizontal. El operario coloca la planta con cepellón dentro del vaso, al llegar al suelo las valvas abren

de forma sincronizada liberando la planta y concluyendo el ciclo. Se diferencia de los anteriores módulos de trasplante por algunas particularidades constructivas y funcionales, ya que el mismo mecanismo es capaz de cavar el hoyo que alojará la planta. Otra ventaja resulta de perfilar adecuadamente las valvas de forma que es posible perforar coberturas de polietileno. Además de que la cercanía con el suelo aseguran una buena posición y verticalidad de la planta (Fig. 2.8).

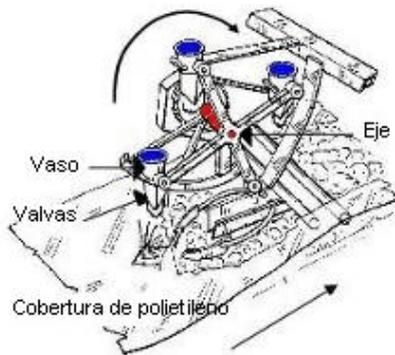


Fig. 2.8 a) Pat. US4886002 de este principio



Fig. 2.8 b) vaso distribuidor con valvas perforadoras.



Fig. 2.8 c) cuerpo distribuidor de trasplantadora (checcchi & magli).

2.4 COMBINACIÓN DE MECANISMOS DISTRIBUIDORES Y ALIMENTADORES

Ahora, recordando los niveles de mecanización en el trasplante antes mencionados se describirán dos diferentes combinaciones entre mecanismos distribuidores y alimentadores de plantas.

- ✓ **Distribuidor de cinta transportadora continua:** el operario coloca varias plantas con cepellón, cada vez, sobre la cinta al avance de la máquina. Ésta corre paralelamente con sentido contrario al avance en un plano inclinado, llevándolas hasta ser depositadas en el suelo por; caída libre, mediante expulsor mecánico o distribuidor de pinzas prensoras. La peculiaridad de este sistema radica en que la cinta sirve como alimentador (Fig. 2.9).

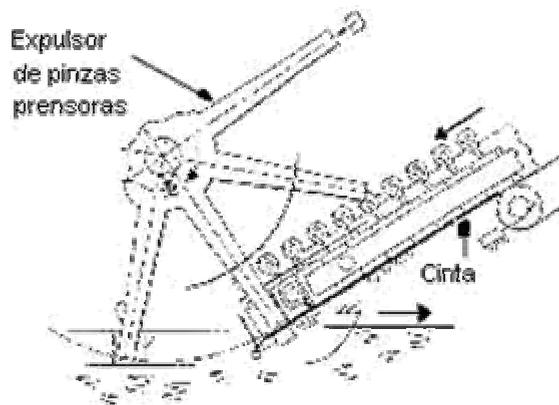


Fig. 2.9 a) distribuidor de cinta transportadora con expulsor de pinzas prensoras laterales (Pat. EP1222846).

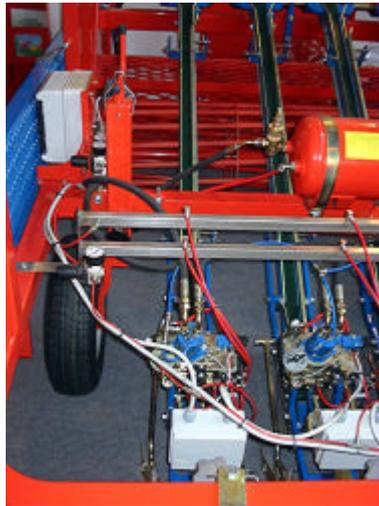
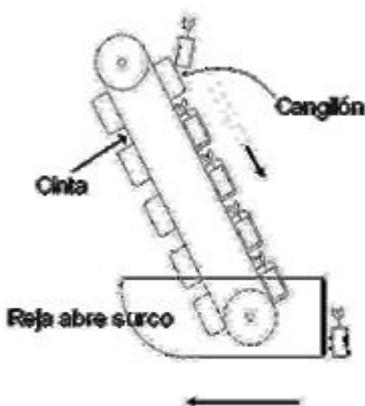


Fig. 2.9 b) distribuidor de cinta transportadora con expulsor neumático (Ferrari Costruzioni).

- ✓ **Distribuidor de cinta transportadora de cangilones:** muy similar a la anterior solo que las plantas con cepellón o papel biodegradable, cortado previamente, son colocadas manualmente una a una dentro de un cangilón fijo a una cinta o cadena vertical. Al girar las deposita en caída libre al suelo, o bien dentro de un tubo aductor (Fig. 2.10).



a) principio de funcionamiento.



b) distribuidor de cangilones con caída libre (Ferrari Costruzioni).

Fig. 2.10

- ✓ **Distribuidor continuo para cadena de papel biodegradable:** las plantas contenidas en *paper pot* tienen las características propias de trasplante automático, al requerir solo la colocación de la bandeja y enganche de la cadena de papel al distribuidor. Un mecanismo separa las celdas de papel por corte o tracción, posterior a la separación son conducidas en plano inclinado para alimentar ya sea; una cinta, o un tubo aductor o directamente al suelo (Fig. 2.11).

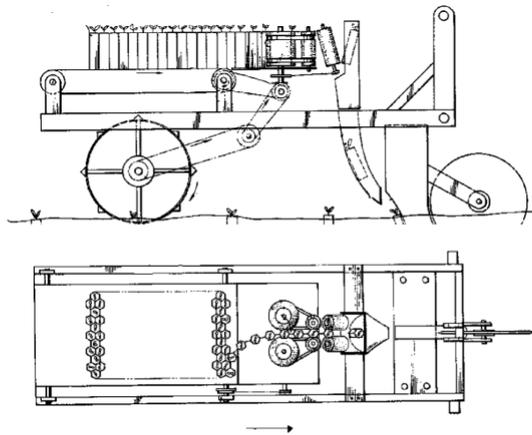


Fig. 2.11 a) vista lateral y de planta de distribuidor para plantas en *paper pot* con separación a tracción y caída en tubo aductor (Pat. US4132337).

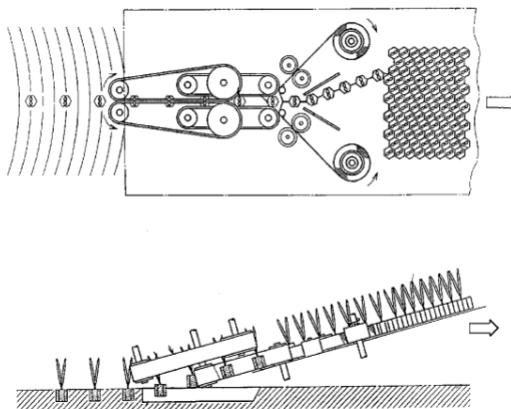


Fig. 2.11 b) vista de planta y lateral de distribuidor con separación a tracción y caída libre al suelo (Pat. US5996513).

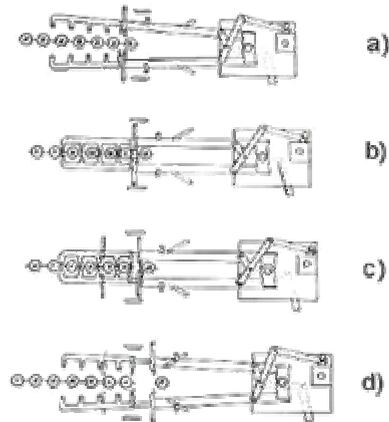


Fig. 2.11 c) mecanismo de corte para distribuidor; a) apertura de "tijera" para recibir el siguiente cepellón, b) cierre, c) corte, d) apertura, separación y descarga (Imagen de Boa, 1984).

- ✓ **Distribuidor de vasos en torno a eje horizontal alimentado por vasos que giran en torno a un eje vertical:** basado en principios antes mencionados este arreglo permite alimentar tantas plantas como le sea posible al operario, independientemente de la sincronía requerida por el distribuidor principal. Además con una disposición adecuada es posible alimentar dos o más mecanismos, rompiendo la razón unitaria condicionante del nivel semiautomático (Fig. 2.12).



Fig. 2.12 Sistema "Fast wolf" manufacturado por la empresa Italiana Checchi Magli.

- ✓ **Distribuidor de discos convergentes con sistema de alimentación por cinta transportadora:** diferentes trasplantadoras comerciales se basan en este principio compuesto de cuatro mecanismos principales que le dan un nivel de mecanización automático total. El operario se limita a colocar una bandeja flexible de plantas con cepellón en el sitio predeterminado, al aplicar fuerza en dos de sus extremos se expulsa parcialmente el contenido. Esto facilita la extracción con pinzas que las trasladan y depositan en una cinta transportadora horizontal, a su vez ésta avanza sincronizadamente y alimenta a otra cinta con avance vertical. Finalmente un par de discos convergentes toman la planta por los tallos desde la cinta y la colocan en el terreno de asiento (Fig. 2.13).

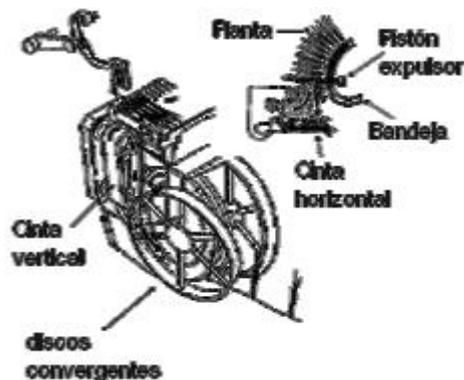


Fig. 2.13 Principio de trasplantadora compuesta de mecanismo distribuidor de discos y alimentación automática por cintas (Pat. EP1077023).

Los mecanismos distribuidores son la parte principal de cualquier trasplantadora, existen una gran cantidad con las formas más curiosas e ingeniosas, pero que por cuestiones de diversa índole no se han desarrollado comercialmente. Un caso ingenioso es el desarrollo de un sistema para colocar plantas a raíz desnuda sobre una cinta que las enrolla en forma de paquete, que posteriormente

la trasplantadora desenrolla y alimenta el mecanismo distribuidor de discos flexibles (Márquez, 1992 y Gracia, 1991). Sin embargo, las tendencias a producir plantas en cepellón marginaron su uso.

2.5 MECANISMOS AUXILIARES

Otro mecanismo importante y de igual forma indispensable en el trasplante es el elemento para cerrar el surco y prensar el suelo vecino a la planta (aporcador), que busca la máxima adherencia entre el suelo y la raíz. Esto se logra con ruedas de acero o goma principalmente, aunque recientes modelos utilizan un *patín* que contribuye a mejorar la labor que se resume en compactar el suelo (Fig. 2.14).



Fig. 2.14 Trasplantadora con "patín nivelador y prensor" de suelo antes y durante la labor de la reja abre-surco, inmediatamente después, la rueda compactadora logra un óptimo trabajo.

También es posible encontrar, en calidad de accesorios, elementos para realizar una labor distinta al trasplante, pero que es requerida previamente o factible de realizar paralelamente aventajando tiempo y costos. Entre ellos: cilindros prensores que nivelan la cama de siembra, instrumentos de riego, de distribución de microgránulos, colocación de cubiertas de polietileno sobre el suelo, etc. (Fig. 2.15)



Fig. 2.15 Aportación de fertilizante paralelo al trasplante.

2.6 TRASPLANTADORAS

La suma de: mecanismo que prepara el hoyo o abre el surco donde se coloca la planta, mecanismo distribuidor o mecanismo alimentador en su caso, y elemento aporador forman lo que comúnmente se llaman cuerpos trasplantadores, que constituyen unidades operativas autónomas. Es posible encontrar configuraciones de 1 hasta 12 de ellos en las diferentes trasplantadoras, algunos con disposiciones ingeniosas como lo muestra la figura 2.16. Donde se ha optimizado el espacio requerido por cada hilera de trasplante colocando una doble fila de vasos que giran en torno a un eje vertical alimentando dos hileras con un solo operario.



Fig. 2.16. a) dos cuerpos trasplantadores alimentados por el mismo distribuidor.



Fig. 2.16. b) arreglo para alimentar dos líneas de plantado (Ferrari Costruzione).



Fig. 2.16. c) cuerpo trasplantador de vasos verticales (Checchi & Magli).

Con las descripciones anteriores es posible identificar y clasificar las diferentes trasplantadoras existentes tomando como referencia: el mecanismo de distribución principal, el tipo de planta y nivel de mecanización. La tabla 2.2 muestra un esquema bajo dichas consideraciones.

Tabla 2.2 Tipo de mecanismos trasplantadores en base al tipo de planta y nivel de mecanización		
Nivel de Mecanización	Tipo de planta	
	Raíz Desnuda	Cepellón
Asistido con marcadores mecánicos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reja abre surco 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rodillo Marcador ✓ Pistón neumático ✓ Reja abre surco
Asistido con distribuidor	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reja abre surco ✓ Discos Flexibles ✓ Pinzas ✓ Prensoras ✓ Correas prensoras 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vasos en torno a eje vertical ✓ Vasos en torno a eje horizontal ✓ Cinta de cangilones
Semiautomático		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cinta transportadora continua
Automático		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dedos expulsores que alimentan desde bandejas cintas prensoras o bien vasos distribuidores. ✓ Mecanismo separador de cepellones encordados que alimentan al mecanismo distribuidor (Caso <i>paper pot</i>)

El nivel de desarrollo de automatización total permite encontrar comercialmente trasplantadoras para plantas con cepellones y contenidas en papel biodegradable, no siendo así para aquellas a raíz desnuda. En la figura 2.17 se muestra la trasplantadora “Futura” de la empresa *FERRARI COSTRUZIONE*, mezcla de dispositivos mecánicos, neumáticos e hidráulicos que le permiten además del nivel automático, un rendimiento de 5000 plantas de cepellón en promedio por hora y por cada cuerpo trasplantador. Es posible a petición del cliente encontrar modelos de máquinas

trasplantadoras del tipo autopropulsada o tirada por el tractor con la posibilidad de combinar de 2 hasta 6 cuerpos trasplantadores.



Fig. 2.17 a) Vista frente trasplantadora FUTURA totalmente automática.



Fig. 2.17 b) Cinta con vasos verticales que giran en plano horizontal.



Fig. 2.17 c) Dedos expulsores que alimentan los vasos.

El principio de funcionamiento es la reja abre-surco por lo que no es posible laborar sobre suelos con cobertura de polietileno. Las plantas contenidas en cepellón son alimentadas en caída libre a través de un tubo aductor desde una *cinta de vasos verticales* que gira en el plano horizontal (Fig. 2.17, inciso b), posteriormente son

expulsadas por un mecanismo hidráulico. Dicha cinta viene alimentada por una serie de dedos (Fig. 2.17 inciso c) que previamente han tomado el cepellón, por la incrustación de ellos sobre la turba comprimida que a su vez fue empujada por unos pequeños pistones desde la parte inferior de la bandeja colocada sobre un marco especial. En cada movimiento es tomada una línea completa de cepellones desde la bandeja, por la serie de dedos, a la vez que un mecanismo imprime la sincronía necesaria para el avance del marco porta bandejas. Un funcionamiento de la cinta muy similar se puede encontrar en la patente EP0612466 A1, el marco de soporte y avance del porta-bandejas en la patente EP0653907.

Un ejemplo de trasplante semiautomático sobre suelo con cobertura de polietileno lo podemos encontrar en la trasplantadora producida por la empresa CHECCHI & MAGLI. Ésta, contiene un rodillo nivelador que prepara el suelo para inmediatamente después colocar: la cobertura de polietileno, cintilla de riego y aportación de micro-gránulos. A continuación coloca la planta, proporcionada manualmente, a través del plástico que es perforado por el distribuidor de vasos verticales que giran en torno a un eje horizontal. De forma paralela, un par de ruedas fijan la cobertura de polietileno por sus extremos laterales y al final un par de ruedas sobre el plástico presionan el suelo vecino a la planta concluyendo la labor (Fig. 2.18).



Fig. 2.18 a) soporte para cobertura de polietileno y rodillo nivelador.



Fig. 2.18 b) vista posterior de trasplantadora "Fast wolf".

La última novedad técnica (Premio novedad técnica feria de Verona Italia 2005) de la empresa *Ferrari Costruzioni* es la trasplantadora FCP *trapianta – pacciamatrice* (Fig. 2.19) con capacidad para trasplante de cepellones sobre suelos acolchados. Los rendimientos alcanzan 5000 plantas / h y las configuraciones de cuerpos trasplantadores pueden ir de 2 o más, aunque el común es de 4. El nivel de trasplante es semiautomático ya que el operario deberá colocar sobre la banda los cepellones de forma individual. Al llegar al final de la banda una pinza tomará uno a uno los

cepellones y alimentará a otra pinza que es la encargada de colocarlos en el suelo. La misma máquina es la encargada de colocar el plástico y la cintilla de riego. Un mecanismo cortador perfora el plástico justo antes de ser colocado en el suelo e inmediatamente después la pinza coloca la planta en la parte seccionada. Para realizar las operaciones antes mencionadas es necesaria la mezcla de elementos mecánicos, hidráulicos, neumáticos y electrónicos por lo que tanto el costo (por arriba de € 40.000) como su operación, no es algo accesible para el común de los agricultores



Fig. 2.19 Trasplantadora para cepellones en suelos acolchados
Tomado de Ferrari Costruzioni <http://www.ferraricostruzioni.com>

En el apéndice VI se presenta una lista de empresas fabricantes de trasplantadoras así con su información de contacto y sus direcciones electrónicas para ampliar la información.

2.7 PATENTES DE TRASPLANTADORAS

Anteriormente se comentó la consolidación del vivero como unidad especializada en producción de plantas para la hortofruticultura, que ha marcado el antes y después en el tema del trasplante. Si bien en los primeros años del siglo anterior se comenzaban pruebas y ensayos para el desarrollo de maquinaria para esta

labor, no es hasta los años sesenta que se consolida su uso gracias a los avances en el desarrollo de plantas en turba.

Comienza entonces la competencia en diseño y patentes, muchas de ellas similares y principios de trabajo casi idénticos con particularidades que “justifican” su diferencia. Así podemos encontrar desde mecanismos elementales que forman parte de las trasplantadoras, hasta diseños completos.

Bajo el criterio de la planta que manejan es posible describirlas, en el apéndice VII se mencionan algunos diseños para material vegetal a raíz desnuda. Son pocos los diseños para este tipo de planta, debido a la dificultad que presenta para el manejo mecánico y las exigencias que requiere su colocación en el terreno de asiento. En cuanto al mecanismo distribuidor podemos dividirlos básicamente en: discos flexibles o con pinzas prensoras radiales y cintas flexibles que toman la planta entre ellas por compresión. La forma de alimentación es manual por lo que el nivel de mecanización es asistido. La preparación del suelo que alojará la planta es por medio de reja abre surco, no siendo aptas para trabajar en aquellos con cobertura de polietileno. En las figuras 2.20 y 2.21 se muestran el principio de funcionamiento descrito en dos patentes, de las últimas mencionadas en el apéndice.

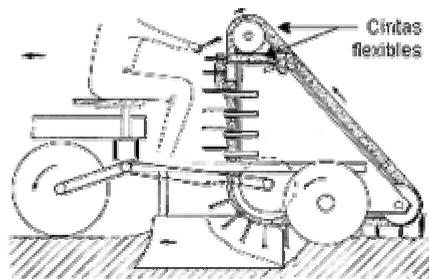


Fig. 2.20 El operario coloca la planta entre las cintas flexibles que la depositarán en el terreno de asiento (Pat. EP0457679).

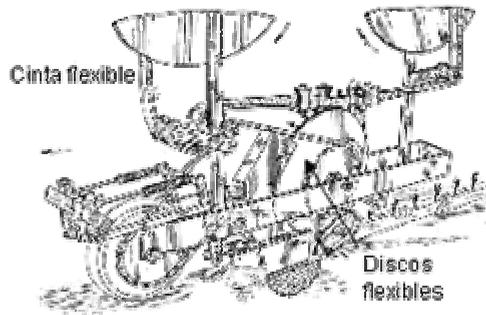


Fig. 2.21 Las plantas colocadas previo y de forma manual, en las muescas de la cinta flexible son tomadas por el disco, también flexible, y llevadas al terreno de asiento (Pat. US4455950)

Para plantas en cepellón se registra una amplia variedad de patentes, que intentan cubrir las necesidades más específicas. También en el Apéndice VII se muestra un resumen de patentes para este tipo de planta que incluye algunas de las desarrolladas comercialmente.

En tales máquinas el mecanismo distribuidor que más destaca es el de cintas en plano inclinado que transportan al cepellón y en el extremo final un mecanismo, de funcionamiento diverso, expulsa las plantas en el terreno de asiento (Fig. 2.22). El tubo aductor que deposita en caída libre la planta dentro de la reja abre surco para posteriormente ser expulsada o directamente sobre el suelo (Fig. 2.23) y el de discos con pinzas prensoras, son de uso común. En menor cantidad encontramos mecanismos neumáticos que en su extremo contienen *agujas* o *dedos* que se incrustan en la turba del cepellón para posteriormente colocarlo en el suelo o bien transportarlo a otro mecanismo (Fig. 2.24). Los distribuidores de vasos que giran en torno a eje horizontal o vertical son realidades posibles y de uso comercial, comentados ya en páginas anteriores. Otras aprovechan la energía neumática para succionar la planta desde la parte inferior de la bandeja y alimentar distribuidores o

depositarlas en terreno de asiento directamente, la figura 2.25 muestra un caso donde el aire comprimido es la base de su funcionamiento.

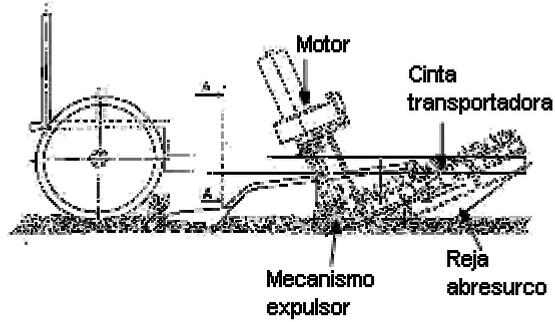


Fig. 2.22 a) Trasplantadora de cinta transportadora inclinada (Pat. EP0596841).

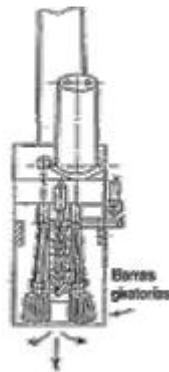


Fig. 2.22 b) detalle de barras giratorias que toman la planta y la expulsan hacia el surco a intervalos regulares.

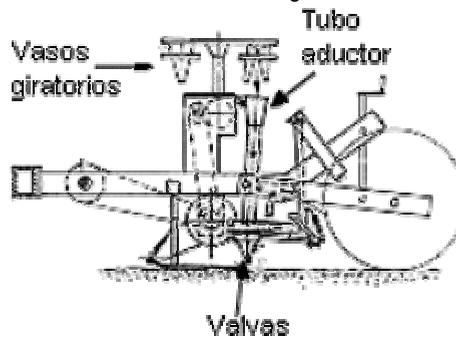


Fig. 2.23. a) trasplantadora con tubo aductor que descarga la planta directamente al suelo a través de unas valvas (Pat. EP0485015).

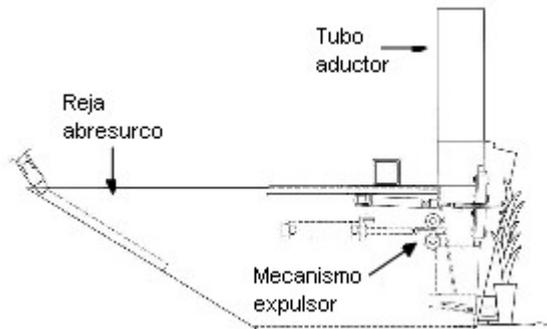


Fig. 2.23. b) mecanismo expulsor dentro de reja abre surco (Pat. US6539883).

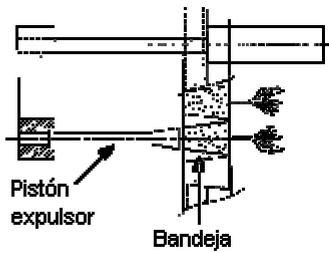


Fig. 2.24. a) expulsión neumática.

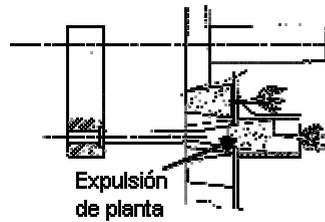


Fig. 2.24. b) planta expulsada e incrustada en los "dedos" o "agujas".



Fig. 2.24 c) fila de plantas extraída y llevada hasta otro mecanismo de distribución.

Fig. 2.24 Mecanismo de extracción desde la bandeja (PCT. WO9828965-6).

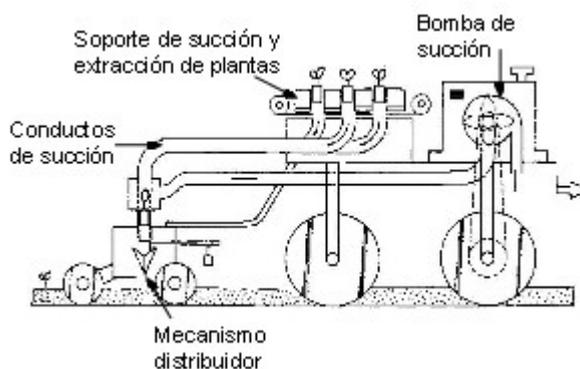
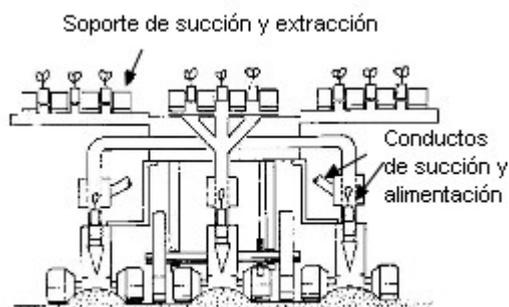


Fig. 2.25 a) extracción de plantas por vacío.



Mecanismos distribuidores

Fig. 2.25 b) vista frente de los tres cuerpos trasplantadores.

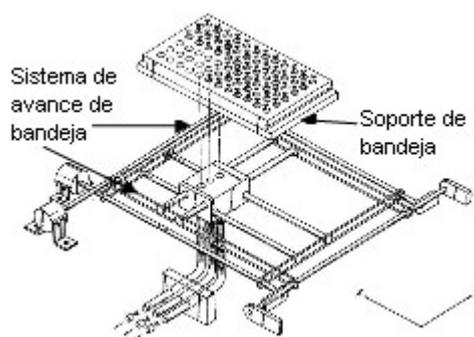


Fig. 2.25 c) sistema de avance de bandeja y mecanismo de succión principal.

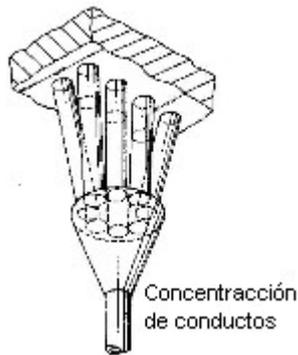


Fig. 2.25 d) concentración de conductos de succión.

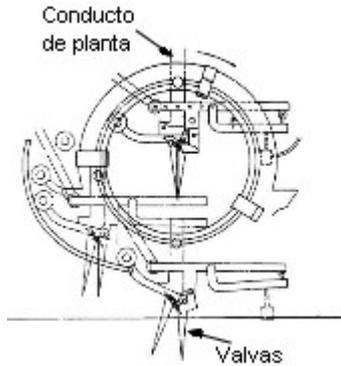


Fig. 2.25 e) mecanismo plantador.

Fig. 2.25 Trasplantadora por principio de vacío (Pat. EP0457906).

Por último mencionaremos algunas patentes para plantas contenidas en papel biodegradable. La gran mayoría son de firmas Japonesas y especializadas para cultivo de arroz. Otras de origen más reciente (Japón y USA) para diferentes cultivos hortícolas como: lechuga, col, cebolla, brócoli, apio y otros que recientemente se han desarrollado bajo este sistema. Entre las dificultades que se pueden encontrar en este sistema son; la adaptabilidad de los cultivos al desarrollo en papel biodegradable y su posterior desarrollo en terreno de asiento, los costos inherentes a la práctica y la maquinaria de trasplante especializada. El apéndice VII muestra algunos registros de trasplantadoras para este tipo de planta. La forma de funcionamiento es muy similar entre todas ellas y se ha mencionado, previamente en este capítulo. La ventaja que le confiere el papel biodegradable es la unión de las plantas entre sí y su rápida separación mecánica para ser colocadas en el terreno de asiento, lográndose mayor velocidad de plantación. La figura 2.26 muestra el principio de funcionamiento de una de ellas.

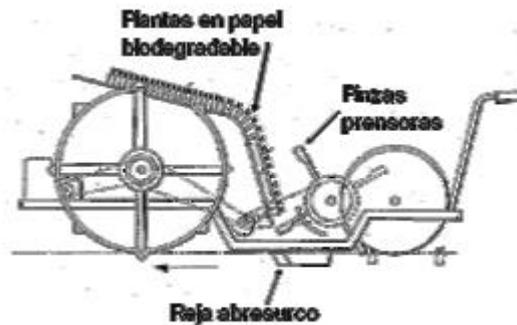


Fig. 2.26 Trasplantadora conducida por manceras (Pat. US4597343). El arreglo de transmisión mecánica de avance intermitente permite a las pinzas prensoras tomar por compresión lateral el cepellón y separarlo por tracción llevándolo hacia el surco abierto por la reja.

Se ha llegado al nivel automático para plantas con cepellón colocadas a suelo abierto. En gran porcentaje los mecanismos de distribución se apoyan en el principio de la reja abre-surco y son alimentados de las formas más peculiares. Las plantas se extraen de la bandeja regularmente por pistoncillos neumáticos y dedos que se incrustan en el cepellón, no olvidando los que por flexión expulsan la planta y pinzas prensoras toman las plantas enviándolas a cintas transportadoras que desembocan en mecanismos distribuidores.

Trasplantadoras para plantas desarrolladas en cepellón sobre suelo cubierto con plástico son pocas. Las de mayor difusión comercial son las de vasos que giran en torno a un eje horizontal donde un par de valvas realizan el corte de acochado, sin olvidar la reciente creación de *Ferrari Costruzioni* descrita líneas atrás. El nivel de mecanización para éste tipo de planta se puede encontrar en: asistidas por un operario que coloca la planta sobre el distribuidor o semiautomático con arreglos de mecanismos distribuidores y alimentadores que rompen la relación unitaria distribuidor-operador.

Las plantas bajo el sistema de papel biodegradable tienen la vocación de trasplante automático ya desde su creación. Las trasplantadoras tienen una forma de funcionamiento muy similar entre sí, sobre todo para suelo abierto. El uso generalizado en la horticultura por este método difícilmente se puede lograr, sin embargo, el desarrollo tecnológico va adelante en la búsqueda de adecuar los cultivos a estas prácticas como la remolacha azucarera con algunos intentos de adopción en España (Franco, 1999), por citar un ejemplo.

Capítulo 3

Objetivos

3 OBJETIVOS

A partir de la revisión bibliográfica del estado del arte para el trasplante en la horticultura, se pueden extraer varias alternativas que den paso a la concepción y diseño de una máquina trasplantadora para la fresa.

Las decisiones que se tomen en este sentido condicionarán y definirán la propuesta del modelo de la trasplantadora que será objeto de tesis.

Por ello se debe ahora justificar las respuestas a los siguientes dilemas:

¿Trasplante a raíz desnuda o cepellón?

Se decide por el trasplante a raíz desnuda en vista de que el método de propagación tradicional vía vegetativa (por plantitas) prevalece hoy en día en el cultivo de la fresa. La trasplantadora en vías de desarrollo podrá basarse en los mecanismos de discos flexibles o pinzas prensoras como se observó en los modelos revisados.

¿Trasplante en suelo seco o húmedo?

El trasplante mecánico que se plantea convendrá realizarlo en suelo con bajo contenido de humedad que permita la entrada de la trasplantadora y sus acciones mecánicas sobre el suelo, penetración del elemento trasplantador y compactación posterior del suelo. No obstante el hecho de colocar plantitas a raíz desnuda en suelo seco puede privar a la planta de suficiente enraizamiento,

limitando su crecimiento y desarrollo. Este problema se puede solucionar seccionando el sistema de riego de manera tal que por medio de válvulas se dirija el agua a los surcos que han sido ya trasplantados, reduciendo el tiempo entre trasplante y riego. Para ello se requerirá una comprobación sobre la respuesta de la planta ante esta situación. Paralelamente y con el objeto de uniformizar el tamaño de las raíces, por donde será tomada la plantita a colocarse mecánicamente en el terreno de asiento, resulta conveniente el analizar el efecto de corte de raíz sobre la nascencia. Las anteriores propuestas serán revisadas en el siguiente capítulo.

¿Trasplante en suelo a campo abierto sin acolchar o acolchado?

La técnica actual de producción a campo abierto está basada en suelo en caballón acolchado para conseguir el máximo potencial productivo de la planta al tiempo que se previene la infestación de malas hierbas y se evita el contacto directo del fruto con el suelo.

El sistema de producción a campo abierto domina aún sobre el de invernaderos aunque la tendencia va hacia el uso de túneles y macrotúneles. Sin embargo la técnica de trasplante no varía significativamente en estos casos ya que de igual forma se construyen caballones acolchados, donde primeramente se realiza el trasplante manual, y a continuación se colocan los túneles. Para realizar el hoyo en el plástico, donde a través de él se colocará la planta, se analizará en el capítulo 5 la pertinencia de seccionarlo de forma similar a la trasplantadora FCP de la empresa *Ferrari Costruzioni*, vista en el capítulo 2. Sin embargo en tal máquina el corte del plástico se realiza previo a la colocación del mismo en el terreno de asiento. En la trasplantadora en fase de diseño, se

propone que el corte del plástico sea sobre el suelo. Como anteriormente se mencionó, el proceso de trasplante será una operación posterior al acolchado. En el capítulo 5 se analizará a profundidad las diferentes variables que influyen en el proceso de corte de plástico sobre el suelo.

¿Alimentación manual o asistida?

Dado que en la trasplantadora en fase de diseño se prevé que el operario atenderá una línea de plantación siguiendo los modos habituales en este cultivo no parece oportuno recurrir a una alimentación automática. En este caso el operador con misiones de vigilancia durante el trabajo de la trasplantadora y reposición de los depósitos del material vegetal quedaría infrutilizado. Es decir la alimentación automática sólo se justifica en máquinas que pueden atender simultáneamente 5 o más líneas de plantado, como se ha visto en los modelos comerciales revisados. Al optar por la alimentación manual se simplifica por otra parte el diseño y proceso operativo de la máquina.

Debido a las características de las plantas a raíz desnuda (multitud de tallos, raíces y dimensiones variables) se propone que la trasplantadora sea asistida por operarios que coloquen la planta sobre un distribuidor mecánico. Siguiendo la forma de operación de las trasplantadoras usadas comúnmente en el trasplante a raíz desnuda, se propone el uso de un sistema de pinzas que sujeten la planta por la raíz, alimentada por el operario, y que sea la encargada de colocarla en el terreno de asiento. El nivel de profundidad al que llegará la pinza será constante por lo que la longitud de las raíces deberá también ser uniforme, lo cual requerirá de cortarles el extremo dejando una extensión

determinada. Esto ayudará a que la pinza no se obstruya con material vegetal excesivo además de lograr uniformidad en el trasplante.

El proceso, por necesidad, deberá ser diferente al del común de las trasplantadoras analizadas en el capítulo anterior, ya que las máquinas para trasplantar en un solo paso realizan la colocación de plástico, cintilla de riego y efectúan el trasplante, esto obliga a tener suelo húmedo que evite someter el material vegetal a estrés hídrico, mientras se termina el trasplante y se aplica el riego. Para el caso que se estudia la labor de preparar el caballón, acolchar y colocar la cintilla de riego será previa al trasplante con el objeto de tener conectado el sistema de suministro hídrico para cuando sea realizado el trasplante, ya que el trasplante será realizado en suelo seco. En el siguiente capítulo se analizará el porque trasplantar de esa manera. Posteriormente se realizarán las actividades de: cortar el plástico, colocar la planta y compactar el suelo, una vez concluidas dichas operaciones se suministrará el riego lo más pronto posible.

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y evaluar un módulo de trasplante que opere con plantas de fresa a raíz desnuda sobre suelo seco acolchado en caballones.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Comprobar la efectividad de trasplantar plantitas a raíz desnuda en suelo seco y posteriormente aplicar riego.

- b) Comprobar la viabilidad de podar las raíces de plantitas de fresa para igualar su tamaño, sin que ello afecte a la nascencia de las mismas.
- c) Estudiar el proceso de corte de la película de plástico desplegada sobre el suelo.
- d) Diseñar el dispositivo de corte de plástico.
- e) Construir y evaluar el módulo de trasplante con sus componentes principales.

Hipótesis

- A. Es técnicamente factible realizar el trasplante mecanizado de plantas de fresa a raíz desnuda con el módulo de trasplante, en suelo seco acolchado y posterior a ello suministrar el riego.
- B. El módulo de trasplante satisface los requerimientos que impone el trasplante de plantas a raíz desnuda sobre suelos acolchados.

Capítulo 4
Estudio de estrés hídrico
y corte de raíz de plantas de fresa

4 ESTUDIO DE ESTRÉS HÍDRICO Y CORTE DE RAÍZ DE PLANTAS DE FRESA

En el presente capítulo se tratará sobre los objetivos específicos:

- a) Comprobar la pertinencia de trasplantar plantitas a raíz desnuda en suelo seco y posteriormente aplicar riego.
- b) Comprobar la viabilidad de podar las raíces de plantitas de fresa para igualar su tamaño, sin que ello afecte a la nascencia de las mismas.

Para ello se comparan cuatro diferentes tratamientos de riego (diferente tiempo respecto del trasplante) y tres subtratamientos de corte de raíz relativo a la corona, para evaluar la hipótesis de que no existe variabilidad entre tratamientos y/o subtratamientos, cuantificando la variable respuesta de nascencia en campo.

4.1 MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó un experimento de parcelas divididas con dos repeticiones (bloques). En la parcela grande se aplicó el tratamiento de riego el cual consiste en cuatro variantes; riego inmediato al momento del trasplante, riego después de 3, 6 y 9 h respectivamente. En las parcelas pequeñas se aplicó el subtratamiento corte de raíz en tres variantes; sin corte, corte a 10 cm respecto de la corona y corte a 5 cm, respectivamente. La parcela se instaló en el Instituto de Ciencias Agrícolas localizado en la Comunidad “El Copal” municipio de Irapuato, Guanajuato, México. La altura sobre el nivel del mar es de 1720 m. El tipo de suelo es arcilloso – limoso y en el momento del trasplante se encontraba con humedad a punto de marchitamiento permanente

(PMP), cuyo porcentaje para el tipo de arcilla en que se laboró ronda el 18%.

Se acolchó el suelo y de forma previa se colocó la cintilla de riego (goteros para doble hilera cada 20 cm). En cada caballón se colocó una válvula que permite dirigir el riego de forma independiente a cada uno de ellos (Fig. 4.1). La perforación del plástico se realizó de forma manual (Fig. 4.2). Las plantas utilizadas fueron de segundo ciclo cosechadas el día 20 de mayo y frigoconservadas, el día 22 de mayo de 2006 se trasplantaron. El Consejo Nacional de la Fresa A.C. proporcionó dichas plantas así como un colaborador con experiencia en trasplante. La forma de realizar el corte de raíz fue con una hoz, se tomaron manojos de 20 plantas y se fueron cortando a necesidad. El responsable de campo se encargó de suministrar los riegos según previo programa (lámina promedio de 10 mm cada tercer día), así como de aplicar los herbicidas, funguicidas y fertilizantes necesarios vía riego por goteo. La configuración de tratamientos (parcelas grandes) y subtratamientos (parcelas chicas) se muestra en la tabla 4.1.



Fig. 4.1 Parcela de evaluación



Fig. 4.2 Vaso perforador manual

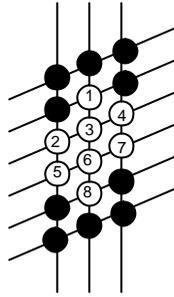


Fig. 4.3 Esquema de toma de datos en subparcelas

Después de 2 y 3 semanas se evaluó la nascencia para los diferentes tratamientos y subtratamientos. La forma de seleccionar las plantas a ser evaluadas se muestra en la figura 4.3, donde los círculos negros representan plantas no evaluadas y los círculos con números representan a aquellas que sí lo fueron, así como el orden de toma de datos (sólo para control de la información). La razón de evaluar solo cierto número de plantas surge de recomendaciones estadísticas ya que para eliminar los efectos que puedan surgir por la vecindad entre parcelas chicas se prescinde de aquellas situadas en los extremos y la cantidad de sujetos a evaluar se selecciona al azar entre aquellos que se encuentran hacia el centro de la subparcela.

Tabla 4.1 Parcelas experimentales (2 bloques) individuales en 5 tratamientos y 3 subtratamientos										
Tratamientos de riego (en cada caballón)										
Bloque 1 (6 m)	Subtratamientos de corte de raíz (en cada fila. 2 m c/u)		AR ₀ SC	AR ₉ C ₁₀	AR ₆ C ₅	AR ₃ C ₁₀	SR SC			
			AR ₀ C ₁₀	AR ₉ C ₅	AR ₆ SC	AR ₃ C ₅	SR C ₁₀			
			AR ₀ C ₅	AR ₉ SC	AR ₆ C ₁₀	AR ₃ SC	SR C ₅			
Bloque 2 (6 m)	Subtratamientos de corte de raíz (en cada fila. 2 m c/u)		AR ₀ C ₅	AR ₉ SC	AR ₆ C ₁₀	AR ₃ SC	SR C ₅			
			AR ₀ C ₁₀	AR ₉ C ₅	AR ₆ SC	AR ₃ C ₅	SR C ₁₀			
			AR ₀ SC	AR ₉ C ₁₀	AR ₆ C ₅	AR ₃ C ₁₀	SR SC			
		1m	1m	1m	1m	1m				

Nomenclatura de la tabla 4.1

Tratamiento	Símbolo
Surco acolchado regado después de 0 horas	AR ₀
Surco acolchado regado después de 3 horas	AR ₃
Surco acolchado regado después de 6 horas	AR ₆
Surco acolchado regado después de 9 horas	AR ₉
Surco sin acolchar previamente regado *	SR

* No incluido en el análisis estadístico, solo para observación.

Subtratamiento	Símbolo
Planta de fresa sin corte en la raíz	SC
Planta de fresa con raíz recortada a 10 cm de longitud	C ₁₀
Planta de fresa con raíz recortada a 5 cm de longitud	C ₅

4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la primera evaluación se muestran resumidos en la tabla 4.2, donde **(V)** representa plantas vivas y **(M)** plantas muertas dentro de cada subparcela que contiene el tratamiento y subtratamiento aplicado. La recolección de datos se realizó 2 semanas después de la plantación (5 de junio de 2006). Como podrá observarse el surco regado después de 9 horas en el bloque 1 es el tratamiento que presenta mayor mortandad. El subtratamiento dentro de ese tratamiento que muestra menor índice de mortandad es el corte a 5 cm de longitud.

Tabla 4.2 Primera evaluación de plantación en campo.										
Bloque 1										
Tratamientos										
AR ₀		AR ₉		AR ₆		AR ₃		SR		
Subtratamientos	SC	5V, 3M	C ₁₀	0V, 8M	C ₅	4V, 4M	C ₁₀	3V, 5M	SC	5V, 3M
	C ₁₀	5V, 3M	C ₅	0V, 8M	SC	6V, 2M	C ₅	6V, 2M	C ₁₀	8V, 0M
	C ₅	4V, 4M	SC	2V, 6M	C ₁₀	8V, 0M	SC	6V, 2M	C ₅	5V, 3M
Bloque 2										
Subtratamientos	C ₅	3V, 5M	SC	2V, 6M	C ₁₀	6V, 2M	SC	4V, 4M	C ₅	7V, 1M
	C ₁₀	6V, 2M	C ₅	3V, 5M	SC	7V, 1M	C ₅	8V, 0M	C ₁₀	5V, 3M
	SC	6V, 2M	C ₁₀	3V, 5M	C ₅	5V, 3M	C ₁₀	5V, 3M	SC	7V, 1M

Se sometieron los resultados obtenidos a análisis estadístico con el software Statgraphics 4.1, obteniéndose los resultados de la tabla 4.3. Se encontró que el riego sí tiene diferencia significativa al 99% de certidumbre entre tratamientos, es decir, si hay variabilidad en la nascencia al aplicar riegos a las 0, 3, 6 y 9 h. Ya que "P-value" es de 0,003, por lo que debemos rechazar la hipótesis de que no

existe diferencia entre tratamientos (riego). La figura 4.4 muestra la distribución de la variable respuesta de la interacción entre riego y corte, la columna uno corresponde a la parcela regada de forma inmediata, las columnas 2, 3, y 4 corresponden al riego después de 3, 6 y 9 h, respectivamente. Las líneas representan los diferentes cortes. Resulta evidente que el riego después de 9 h tiene el mayor índice de mortandad y entre los demás riegos no se encuentra diferencia significativa como lo muestra la tabla 4.4, donde se realiza un análisis de comparación múltiple de Fisher (LSD, least significant difference). La columna de “Homogeneous groups” evidencia al 95% de confianza que los tratamientos de riego 0h, 3h, y 6h son homogéneos y el de 9h tiene diferencia con el resto.

Tabla 4.3 Análisis estadístico de estrés hídrico y corte de raíz primer evaluación

Analysis of Variance for PVS1 - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: RIEGO	66.4583	3	22.1528	11.31	0.003
B: CORTE	0.0833333	2	0.0416667	0.02	0.979
C: BLOQUE	3.375	1	3.375	1.72	0.225
INTERACTIONS					
AB	18.9167	6	3.15278	1.61	0.260
AC	3.45833	3	1.15278	0.59	0.639
RESIDUAL	15.6667	8	1.95833		
TOTAL (CORRECTED)	107.958	23			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

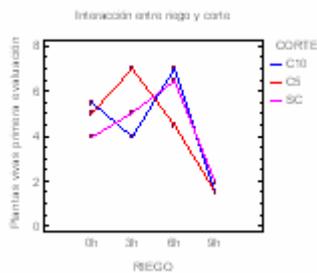


Fig. 4.4 Gráfico que muestra la variable de plantas vivas para la interacción entre riego y corte, en la primera evaluación de campo.

Tabla 4.4 Análisis de comparación múltiple por el método de Fisher (LSD) para el factor riego primer evaluación

Multiple Range Tests for PVS1 by RIEGO

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
RIEGO      Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
9h          6          1.66667      X
0h          6          4.83333      X
3h          6          5.33333      X
6h          6          6.0          X
-----
    
```

Tabla 4.5 Análisis de comparación múltiple por el método de Fisher (LSD), para el factor corte primer evaluación.

Multiple Range Tests for PVS1 by CORTE

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
CORTE      Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
SC          8          4.375       X
C10         8          4.5         X
C5          8          4.5         X
-----
    
```

Siguiendo con el análisis, el corte de raíz (subtratamiento) no muestra diferencia significativa con una confianza del 95%, es decir no existe evidencia entre no cortar la raíz, cortarla a 10 cm o a 5 cm, lo que coincide con el estudio realizado por Duval (2002). Esto lo podemos comprobar observando en la tabla 4.3 el valor 0,9790 en la columna “P-value” para corte. En la tabla 4.5 se comprueba que no hay diferencia significativa entre tipos de corte al realizar un análisis de comparación múltiple de Fisher (LSD).

Los resultados de la segunda evaluación (12 de junio de 2006) en campo se muestran en la tabla 4.6. Como podrá observarse el surco regado después de 9 h tanto en el bloque 1 y 2 muestra mortandad total, entre los otros tratamientos la diferencia no es tan evidente por lo que se sometió la información a análisis estadístico con el mismo software. Los resultados se muestran en la tabla 4.7; nuevamente tenemos que rechazar la hipótesis de que el riego no influye (valor 0,0299 de “P-value”). En la figura 4.5 se muestra la

distribución de la variable respuesta, se observa que la tendencia respecto de la primera evaluación se mantiene, pues la columna correspondiente al tratamiento de riego después de 9 h, muestra total mortandad. La columna 1 muestra valores correspondientes al tratamiento de suelo regado a las 0 h, que aumentan ligeramente su dispersión entre subtratamientos con respecto de la primer evaluación, sin embargo para el riego después de 3 h correspondiente a la columna 2 aumenta significativamente el nivel de mortandad en plantas, comparándose casi con el tratamiento de riego después de 9 h. La tabla 4.8 muestra el análisis de comparación múltiple de Fisher (LSD) donde se observa que al 95% de confiabilidad los tratamientos de riego a 9 y 3 h, tienen alta mortandad. El riego a las 6 h y 0 h muestran similar mortandad.

Tabla 4.6 Segunda evaluación de plantación en campo.										
	Bloque 1									
	Tratamientos									
	AR ₀		AR ₉		AR ₆		AR ₃		SR	
Subtratamientos	SC	1V, 7M	C ₁₀	0V, 8M	C ₅	1V, 7M	C ₁₀	0V, 8M	SC	3V, 5M
	C ₁₀	1V, 7M	C ₅	0V, 8M	SC	0V, 8M	C ₅	0V, 8M	C ₁₀	3V, 5M
	C ₅	1V, 7M	SC	0V, 8M	C ₁₀	1V, 7M	SC	0V, 8M	C ₅	1V, 7M
Subtratamientos	Bloque 2									
	C ₅	0V, 8M	SC	0V, 8M	C ₁₀	0V, 8M	SC	0V, 8M	C ₅	1V, 7M
	C ₁₀	2V, 6M	C ₅	0V, 8M	SC	4V, 4M	C ₅	0V, 8M	C ₁₀	2V, 6M
	SC	3V, 5M	C ₁₀	0V, 8M	C ₅	2V, 6M	C ₁₀	1V, 7M	SC	1V, 7M

Tabla 4.7 Análisis estadístico de estrés hídrico y corte de raíz segunda evaluación

Analysis of Variance for PVS2 - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:RIEGO	9.45833	3	3.15278	5.04	0.0299
B:CORTE	2.08333	2	1.04167	1.67	0.2483
C:BLOQUE	2.04167	1	2.04167	3.27	0.1083
INTERACTIONS					
AB	6.91667	6	1.15278	1.84	0.2074
AC	1.45833	3	0.486111	0.78	0.5386
RESIDUAL	5.0	8	0.625		
TOTAL (CORRECTED)	26.9583	23			

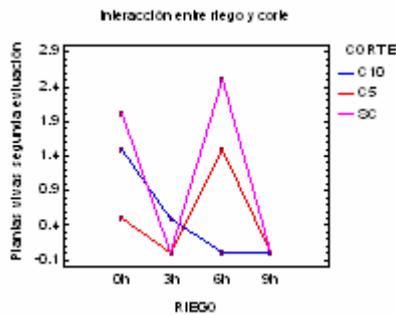


Fig. 4.5 Gráfico que muestra la variable de plantas vivas para la interacción entre riego y corte, en la segunda evaluación de campo.

Tabla 4.8 Análisis de comparación múltiple por el método de fisher (LSD), para el factor riego segunda evaluación

Multiple Range Tests for PVS2 by RIEGO

Method: 95.0 percent LSD

RIEGO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
9h	6	0.0	X
3h	6	0.166667	X
6h	6	1.33333	X
0h	6	1.33333	X

Tabla 4.9 Análisis de comparación múltiple por el método de fisher (LSD), para el factor corte segunda evaluación

Multiple Range Tests for PVS2 by CORTE

Method: 95.0 percent LSD			
CORTE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
C10	8	0.5	X
C5	8	0.5	X
SC	8	1.125	X

En los subtratamientos encontramos que la tendencia seguida en la primer evaluación se revierte, pues ahora la hipótesis de que no existe diferencia significativa entre tratamientos se ve disminuida, como lo muestra el valor 0,2483 en la tabla 4.7, columna “P-value”, fila “Main effects” para corte. Al observar la figura 4.5 se deduce que el riego después de 9 h con cualquier subtratamiento no cuenta con plantas vivas; donde se encuentra el mayor promedio de plantas vivas es en el subtratamiento sin corte de raíz, línea azul de la gráfica. Entre el corte a 10 cm y 5 cm, líneas roja y rosa respectivamente, el comportamiento de los tratamientos es similar. La tabla 4.9 muestra un análisis de comparación múltiple por el método de Fisher (LSD) donde todos los grupos son homogéneos, es decir, no hay diferencia entre subtratamientos con un 95% de certidumbre. Cabe mencionar, que el experimento no se llevó a cabo en la temporada regular (otoño), por lo que las plantas fueron expuestas a temperaturas mayores de las acostumbradas, lo que ocasionó una gran mortandad.

4.3 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE ESTRÉS HÍDRICO Y CORTE DE RAÍZ DE PLANTAS DE FRESA

- Existe diferencia significativa entre los tratamientos de riego aplicado después del trasplante a las 0, 3, 6 y 9 h, sin embargo

los tratamientos de 0, 3 y 6 h forman un grupo homogéneo. Es factible aplicar el riego después del trasplante dentro de 6 h posteriores como máximo, sin embargo regar inmediatamente es lo más adecuado.

- No existe diferencia significativa con un 95% de certidumbre entre subtratamientos al no realizar corte en la raíz, realizarlo a 10 cm o a 5 cm, por lo que es viable realizar el corte de raíz a 5 cm medidos desde la corona hacia el extremo.

Se realizó un nuevo experimento con planta de primer ciclo en la temporada regular del cultivo, encontrándose resultados similares. Si bien los estudios arrojan la factibilidad técnica de realizar el riego posterior al trasplante dentro de cierto rango de tiempo, evaluar inclusive la producción en kg/ha reforzarían las conclusiones obtenidas.

Capítulo 5

Estudio del corte de la película de plástico sobre suelo acolchado

5 ESTUDIO DEL CORTE DE LA PELÍCULA DE PLÁSTICO SOBRE SUELO ACOLCHADO

En este capítulo se tratarán los objetivos particulares c) y d) planteados en el capítulo 3 de objetivos:

- c) Estudiar el proceso de corte de la película de plástico desplegada sobre el suelo.

- d) Diseñar el dispositivo de corte de plástico.

OBJETIVO

Estudiar el fenómeno de corte de la película plástica desplegada sobre el suelo (acolchado) y la relación que guardan las variables del proceso con la calidad y eficiencia del corte. Se evalúa la energía y penetración de la cuchilla en el suelo al realizar el corte como fundamentos para el diseño del cortador del módulo de trasplante.

5.1 ANTECEDENTES

El acolchado con películas de plástico

Desde hace aproximadamente 30 años en USA y otros países desarrollados comenzó el uso a gran escala de películas plásticas para cubrir el suelo donde se desarrollaban hortalizas principalmente. Para el caso de México, y de manera específica en el cultivo de la fresa, en la última década este método de producción forzada comienza a tomar relevancia en las zonas productoras de Michoacán, Guanajuato y Baja California. Las

ventajas de su uso son variadas (Lamont W. 2001, Mitchel J. 2004) entre ellas se pueden mencionar: incremento en la producción del cultivo, desarrollo de cultivos tempranos, mejoramiento de la calidad de las hortalizas, reducir la lixiviación de fertilizantes, reducir la evaporación de agua, control de plagas, mejor administración de pesticidas y enfermedades, y mejor disponibilidad de nitrógeno. Por otro lado se han originado problemas relativos a su uso como; retiro y disposición del plástico utilizado, mayores costos de producción, incremento de la administración del cultivo, mayor susceptibilidad a cambios bruscos en la temperatura. Desde luego el incremento en la producción que se traduce en mayores ganancias justifica su uso, contrario a ello, el incremento de costos obliga a una mejor administración en todos los aspectos para lograr un beneficio real.

Dos aspectos es necesario considerar para elegir el plástico correcto: calibre y opacidad. El primero con un rango de variación de 0,012 mm a 0,031 mm (Mitchel J. 2004), El segundo, tiene aún más rango de variación pues la opacidad y tonalidades de color en plásticos es un área de investigación muy activa (American Society for Plasticulture, <http://www.plasticulture.org>). Para la elección del calibre o grosor se debe tomar en cuenta la temperatura deseada en el interior del caballón y el esfuerzo mecánico a que será sometido el plástico al colocarlo o retirarlo del terreno. Para la elección de la opacidad o tonalidad de color es determinante la necesidad de alcanzar una cierta temperatura bajo el plástico, limitar los flujos de calor y prevención de la incidencia de luz solar al suelo. En México son pocas las empresas que comercializan diferentes calibres de plástico. Se investigó con agricultores de la región acerca de los diferentes calibres usados en el cultivo de la fresa, encontrándose que hay cierto desconocimiento de esta

variante. Algunos distribuidores de la zona manejan un calibre estándar de 0,03 mm, otros distribuidores comercializan a pequeña escala el calibre de 0,023 mm. La tendencia del agricultor mexicano es adquirir el plástico más comercial o de bajo costo sin considerar otras variables.

El corte de plástico

El corte de plástico para acolchado en suelo es un área poco explorada dentro de la agricultura, a excepción de los estudios que realizan los organismos de normalización para determinar las propiedades mecánicas de los mismos (Norma Mexicana NMX-E-082-SCFI-2002), la investigación se ha concentrado en el estudio de los beneficios o afectaciones que sufren los cultivos por sus variantes en la parte agronómica.

Para el caso del elemento de corte podemos encontrar un sinfín de materiales, desde aceros hasta plásticos. La elección dependerá en gran medida del plástico a cortar. En el área agrícola predominan las cuchillas de acero con una capa templada que prolonga la vida útil. Las formas son diversas: cuchillas para cortadoras de forraje, de poda, para cosechadoras de granos, tijeras para corte de pedúnculos, cortacéspedes, bordeadoras de hilo y desbrozadoras, entre otras. Persson S. 1987, desarrolla un profundo análisis del corte de material vegetal apoyándose en las aportaciones que realiza Chancellor W. 1957. Kanafojski C. 1976 describe de manera sencilla las diferentes modalidades de corte con cuchillas y su correspondiente contra cuchilla. Ledesma E. 2005 retoma las aportaciones de los mencionados autores y desarrolla un análisis de corte para el diseño y construcción de una máquina de maleza para su uso en regaderas.

Una clasificación rápida del proceso de corte tomando como base la naturaleza de la acción se muestra a continuación.

Clasificación de corte de acuerdo a la naturaleza de la acción de corte:

- ? Por impacto
- ? Tangencial
- ? Tijera en contacto lineal
- ? Tijera en contacto puntual
- ? Normal sobre cuerpo rígido

Otra clasificación se puede hacer en base a la acción primaria de la cuchilla de corte:

Clasificación de corte de acuerdo a la naturaleza de la acción de corte

- ? Por compresión
- ? En tensión local
- ? Por flexión
- ? Deslizante

En cuanto al material a cortar dependerá si es frágil, dúctil o plástico.

El caso que nos ocupa se puede considerar, en primera aproximación, como un corte de tijera en contacto lineal donde el suelo actúa de contra cuchilla y, corte plástico por la naturaleza del material cortado.

Sin embargo, no se puede considerar al suelo como cuchilla de contra corte sólida pues de acuerdo a la granulometría, compactación y humedad, la firmeza será distinta.

Al inicio del corte el suelo se comporta de manera esponjosa de acuerdo con su nivel de porosidad y de acuerdo al tipo de suelo, nivel de compactación y humedad. Llegando a cierto límite de compactación en el suelo comienza el corte efectivo de la cuchilla, a determinado desplazamiento, por lo que se puede hablar inicialmente de un fenómeno de compactación del suelo y después, a determinada compactación, se crea el efecto de contra cuchilla, permitiendo el corte del plástico.

Si consideramos el material plástico a cortar tendremos al inicio, una deformación elástica seguida de deformación plástica hasta encontrar el punto de ruptura. En definitiva el fenómeno del corte ocurrirá por tensión local sobre el plástico, según sea el perfil de la cuchilla, actuando el suelo como contra-cuchilla, y desgarre del plástico arrastrado por la propia cuchilla cortante.

5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PLÁSTICO

Previo al estudio de corte se seleccionaron los dos plásticos comerciales, mencionados líneas arriba, de grosor 0,030 mm y 0,023 mm, respectivamente. Se procedió a la determinación de sus propiedades mecánicas; tensión de rotura (esfuerzo último a tracción), módulo elástico y elongación, siguiendo la Norma Mexicana NMX-E-082-SCFI-2002, basándose en las ecuaciones;

$$s = \frac{G}{A}$$

donde:

- S** = Tensión de rotura (Esfuerzo último a tracción) (Pa)
- G** = Fuerza máxima resistida (N)
- A** = Área transversal de la probeta (m²)

$$E = \left(\frac{\Delta F}{\Delta X} \right) \left(\frac{L_o}{A} \right)$$

donde:

- E**= Módulo elástico (Pa)
- ΔF** Fuerza en el tramo recto de la gráfica “fuerza – deformación” (N)
- ΔX** Deformación en el tramo recto de la gráfica “ fuerza – deformación” (m)
- L_o** Longitud inicial de la probeta (m)
- A** = Área transversal de la probeta (m²)

$$e = \frac{\Delta \ell}{L_o} \times 100$$

- e** = Alargamiento unitario (%)
- Δ ℓ** = Aumento de longitud del espécimen al aplicarle fuerza de tensión (m)
- L_o** = Longitud inicial de la probeta(m)

Se realizaron 10 pruebas de tracción para cada plástico, cabe mencionar que la norma recomienda realizar 5 ensayos para materiales isotrópicos descartando aquellos que tengan alguna imperfección fortuita y obvia. La nomenclatura usada por conveniencia fue;

- ? P1 = Plástico 1 con grosor de 0,030 mm
- ? P2 = Plástico 2 con grosor de 0,023 mm



Fig. 5.1 Micro systems TAXT2



Fig. 5.2 Probeta de plástico

Para realizar los ensayos se utilizó un equipo de análisis de textura “Micro Systems TAXT2” (Fig. 5.1) que contiene una célula de carga con capacidad de registrar fuerzas de 1mN hasta 300N, velocidades del brazo que sostiene la mordaza de 1 mm/s hasta 10 mm/s y carrera de 150 mm. Se pueden realizar tanto pruebas de tracción como de compresión además de configuración cíclica en

los ensayos, intermitente o bien paquetes predefinidos para análisis de ciertos materiales biológicos. Esto es posible gracias a que se incluye el programa computacional “Xtra Dimension” donde la información generada en el texturómetro es digitalizada y presentada en forma gráfica con la posibilidad de seleccionar gráficos de fuerza – distancia o tiempo, además de navegar a través de los datos generados para obtener información determinada.

El procedimiento fue el siguiente; se sujetó entre las mordazas del texturómetro una probeta de plástico de 60 mm de ancho por 200 mm de largo dejando un claro de 25 mm (L_0), en forma vertical y se aplicó fuerza por medio del equipo con velocidad constante de 1 mm/s que es menor a la máxima indicada por la norma. Las dimensiones y velocidad seleccionadas están basadas en las recomendaciones de la norma de resistencia a tensión para plásticos con espesor menor a 4 mm, aunque la norma predefine la forma de la probeta del tipo “corbata” se decidió el espécimen rectangular (Fig. 5.2) debido al ancho de las cuchillas de corte. Durante la prueba el analizador envía información a la computadora donde el *software xtra dimension* construye la gráfica. A petición del usuario se registran los valores de fuerza y desplazamiento. El desplazamiento máximo de la mordaza móvil puede ser previamente seleccionado. La información puede ser archivada en forma digital, tanto gráfica como en lista de coordenadas. Para cada ensayo se extrajeron de la gráfica los valores de: límite de proporcionalidad (N), límite elástico (N), fuerza máxima resistida (N), fuerza de ruptura (N), punto de ruptura (mm) y energía (J). El área bajo la curva de la gráfica “fuerza – deformación” representa el valor de energía necesaria para realizar el ensayo. El software permite con las gráficas de los 10 ensayos realizados obtener una

que representa el promedio, de ahí nuevamente se extraen los valores antes descritos y se procede a determinar las propiedades mecánicas de ambos plásticos.

5.2.2 PRUEBAS DEL CORTE DE PLÁSTICO CON CUCHILLA (EN TEXTURÓMETRO)

Como segundo paso antes de profundizar en el corte del plástico sobre suelo, se evaluó el comportamiento mecánico del plástico cuando es sometido a corte por cuchilla. Gutiérrez C. y Serwatowski R. 2006 estudiaron dos opciones de corte de plástico desplegado sobre el caballón: vaso (cilindro hueco) dentado en el extremo sometido a movimiento circular que al desplazarse en movimiento vertical corta el suelo, y cinco diferentes cuchillas dentadas (Fig. 5.3) que cortan el plástico al desplazarse verticalmente.



Fig. 5.3 a) Triángulo equilátero de 1cm



Fig. 5.3 b) Triángulo equilátero de 0.5cm



Fig. 5.3 c) Triángulo con ángulo recto base de 0.5cm y altura de 1cm



Fig. 5.3 e) Triángulo con ángulo recto base de 0.2cm y altura de 0.5cm



Fig. 5.3 d) Cuchilla en forma de "V"

Con dimensiones de lámina de 10 cm de base por 8 cm de altura.

En este estudio previo se determinó que el vaso realiza corte satisfactorio del plástico por arriba de las 3000 rev/min cuando la velocidad relativa de avance entre el cortador y el suelo cubierto con plástico no supera 2 m/s. Sin embargo se observó que el plástico sufre desgarres al momento de que el vaso perforador sale del suelo. Además que el vaso no desaloja eficientemente los restos de plásticos cortados. De las cuchillas dentadas se encontró que las de perfil dentado en forma de triángulo equilátero de 1 cm y ½ cm de lado realizan un corte de plástico satisfactorio con menor cantidad de energía en comparación de las otras.

Para los experimentos de este apartado se seleccionaron 3 tipos de las cuchillas utilizadas en dichos estudios y se agregó una cuarta con borde cortante recto, las dimensiones son 70 mm de ancho por 170 mm de alto. Se realizaron pruebas de corte con los plásticos P1 y P2 siguiendo la nomenclatura de la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Cuchillas para los ensayos de corte			
Cuchilla	Perfil	Simbología	Figura
Cuchilla 1	Borde cortante recto	C1	Fig. 5.4, a)
Cuchilla 2	Borde cortante en forma "V"	C2	Fig. 5.4, b)
Cuchilla 3	Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero de 1 cm de lado.	C3	Fig. 5.4, c)
Cuchilla 4	Borde cortante con dientes en forma de triángulo con ángulo recto base de 0.5cm y altura de 1cm	C4	Fig. 5.4, d)

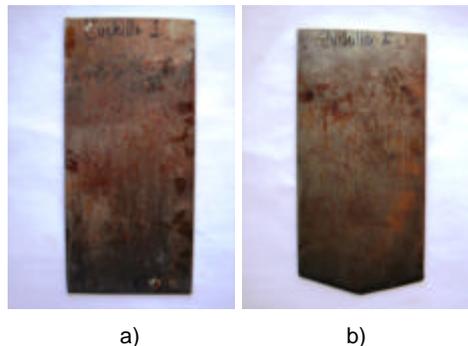


Fig. 5.4 Cuchillas para los ensayos de corte

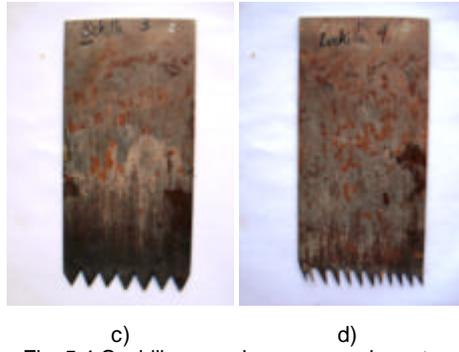


Fig. 5.4 Cuchillas para los ensayos de corte

Se usaron probetas de plástico que tienen las mismas medidas que las usadas para determinar las propiedades mecánicas, éstas fueron colocadas de forma horizontal sobre una base sólida que cuenta con una rendija de 5 mm (Fig. 5.5), lo que permite actuar de contra-cuchilla al momento en que se imprime fuerza al brazo del texturómetro que contiene la cuchilla que cortará el plástico. A cada lado de la base sólida se afianzó el plástico por medio de clips metálicos con borde redondeado que permiten sujetar el espécimen sin dañar la parte en sujeción que provoque fallas en zonas no deseadas (Fig. 5.6).

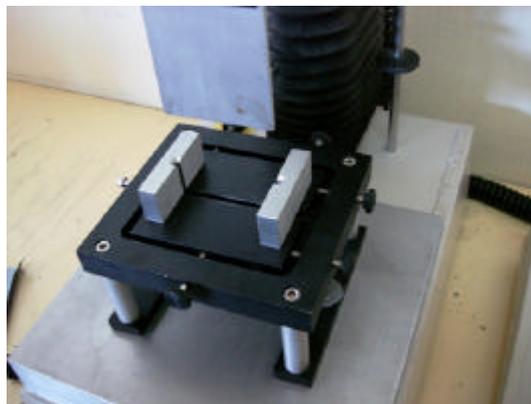


Fig. 5.5 Base para probetas en texturómetro



Fig. 5.6 Probeta de plástico a ser ensayada

El desplazamiento del brazo que contiene la cuchilla de corte se preseleccionó en 100 mm lo mismo que en estudios previos fueron suficientes para realizar el corte del plástico. Los ensayos se realizaron con las diferentes combinaciones plástico (P1 y P2), cuchilla (C1, C2, C3 y C4), a velocidades; $V1 = 1 \text{ mm/s}$ y $V2 = 10 \text{ mm/s}$, especificadas en la norma y que coinciden con los límites de velocidad en el texturómetro. Las combinaciones resultantes son por tanto: $2 \times 4 \times 2 = 16$.

Para cada combinación se realizaron 5 repeticiones resultando en 80 ensayos. El objetivo de realizar esta evaluación se centra en poder determinar la energía de corte necesaria para cortar el plástico con las diferentes cuchillas a diferentes velocidades como un preámbulo al corte de plástico sobre suelo, además de evaluar el desplazamiento de la cuchilla hasta el punto de ruptura como un parámetro de restricción en el diseño del cortador del módulo de trasplante. Los parámetros evaluados, además de la energía y desplazamiento, fueron; límite elástico (N) y fuerza máxima (N).

5.2.3 PRUEBAS DE CORTE DE PLÁSTICO SOBRE SUELO CON CUCHILLA (EN TEXTURÓMETRO)

Para el estudio del fenómeno de corte de plástico sobre suelo, es necesario involucrar todas las variables independientes tanto del plástico como del suelo. Del apartado anterior se considerará el plástico (P1 y P2), la cuchilla (C1, C2, C3 y C4) y velocidad (V1 y V2), y se agregarán las variables: tipo de suelo, humedad y compactación. Para el estudio se seleccionó un suelo con características de franco arcilloso (S1), típico en la zona fresera del Estado de Guanajuato, y se incluyó otro suelo con características de franco arenoso (S2), buscando el representar las zonas arenosas donde se desarrolla el cultivo de la fresa como es el caso de Huelva en España, algunas zonas de Florida y California en los Estados Unidos de Norte América y Baja California en México. Se considera que al tomar estos dos suelos con propiedades mecánicas muy distintas se estará abarcando una amplia variedad de tipos de suelos, aunque por la naturaleza mecánica de suelos ser concluyentes por extrapolación resulta aventurado.

Otro parámetro que es necesario incluir para realizar un estudio cuidadoso es la humedad, aunque en el estudio de evaluación de estrés hídrico realizado en el apartado del diseño conceptual del proceso de trasplante se determinó que se tienen hasta 6h como máximo para realizar el riego. En la práctica los agricultores prefieren realizar un primer riego para posteriormente dejar actuar la evaporación que permita la entrada de maquinaria al campo evitando bajos niveles de humedad, es decir evitar el punto de marchitamiento permanente (PMP), por ello se decidió estudiar dos variables de humedad; PMP (H1) y suelo a capacidad de campo

(CC) como humedad 2 (H2), eventos que pueden ocurrir en la práctica.

Se contaba inicialmente con los suelos 1 y 2 a PMP, por lo que obtener H1 en ambos no representó problemas. Para alcanzar H2 se procedió con el método gravimétrico; se prepararon probetas de suelo en recipientes con perforaciones en la base que permiten la entrada de fluido al colocarles en bandejas con agua. Se dejaron reposar por 24 h para alcanzar el punto de saturación, posterior a ello se retiraron de la bandeja y se dejaron 12 h a la intemperie para eliminar el exceso de humedad por gravedad, alcanzando CC. De cada probeta se tomaron pequeñas muestras de suelo (100 g aproximadamente) y se colocaron en recipientes a peso constante, se mantuvieron en la estufa de laboratorio durante 24 h en lotes de 4 muestras, al ser extraídas se valoró la humedad por diferencia en peso. Si para cada combinación de parámetros se realizaron 5 repeticiones del ensayo, fue necesario preparar tantas probetas como combinaciones fueron analizadas. EL valor de humedad obtenido representa el promedio de las 4 muestras del lote. Si cada una de ellas sirve para realizar 5 ensayos entonces la humedad determinada corresponde a 20 ensayos a H2 de las combinaciones estudiadas. Dada la variabilidad de humedad en el suelo fue necesario medir particularmente ese parámetro en el momento de los ensayos de cada película. Por ello los niveles de humedad no pueden considerarse como fijos en las combinaciones ensayadas. Se utilizó un medidor de humedad digital (Aquaterr Moisture meter, Aquaterr Instruments EC-200) y tanto para H1 y H2 se determinó la humedad en cada combinación ensayada.

La otra variable a involucrar es la compactación en el suelo, como punto de partida se consideró al peso propio del suelo que ejerce

una fuerza determinada, como compactación 1 (F1), la compactación 2 (F2) se realizó utilizando un dispositivo con un brazo compactador (Fig. 5.7) donde en el extremo se colocó una masa de 20 kg lográndose una fuerza sobre el suelo de 900 N, que al distribuirse sobre el área del plato compactador se logra una presión de 58,5 kPa. Sin embargo adviértase que la compactación lograda con este procedimiento no es uniforme a diferentes profundidades del suelo, la mecánica de suelos es uno de los temas más complejos del área agronómica. Dada la variabilidad de compactación en el suelo fue necesario medir particularmente ese parámetro en el momento de los ensayos de cada película. Por ello los niveles de compactación no pueden considerarse como fijos en las combinaciones ensayadas. Con el objeto de conocer la influencia de la compactación lograda en el suelo con la fuerza a la que fue sometida, se examinó la compactación en el suelo cada 1,5 cm en los primeros 12 cm utilizándose un penetrómetro de cono (Rimik CP 20, manufacturado por Agridry Rimik PTY LTD, con 600 mm de profundidad de análisis en suelo y capacidad de detección de compactación hasta de 5000 kPa registrándose los valores tanto para F1 como para F2, en cada posible combinación.



Fig. 5.7 Dispositivo compactador



Fig. 5.8 Probeta de suelo y plástico a ser ensayados

En definitiva se ensayarán 6 factores o variables:

- ? Tipo de plástico, 2 niveles (P1 y P2)
- ? Tipo de cuchilla, 4 niveles (C1, C2, C3 y C4)
- ? Tipo de suelo, 2 niveles (S1 y S2)
- ? Grado de humedad, 2 niveles (H1 y H2)
- ? Grado de compactación, 2 niveles del suelo (F1 y F2)
- ? Velocidad de la cuchilla, 2 niveles (V1 y V2)

El número de combinaciones asciende a $2 \times 4 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 128$. Al realizar 5 repeticiones de cada combinación resultan 640 ensayos.

Sobre la bandeja que contenía el suelo preparado con la compactación y humedad requeridas para los diferentes ensayos se colocó el plástico, y en la periferia se afianzó con clips metálicos redondeados (Fig.5.8). El recipiente se situó entre la base del texturómetro y el brazo que contiene la cuchilla que realizará el corte. Se acercó la cuchilla lo más posible al plástico y se procedió

con los ensayos, seleccionando nuevamente 100mm como desplazamiento del brazo.

Los parámetros evaluados de cada repetición de las 128 combinaciones fueron: fuerza máxima soportada por el plástico (N), fuerza alcanzada en el suelo a los 100mm de profundidad de corte (N), deformación total del plástico en la rotura (mm), energía total bajo la curva “fuerza – deformación” (J), humedad (% gravimétrico) y compactación (N/m²). En este apartado se realizaron 640 ensayos que corresponden a 5 repeticiones de las 128 combinaciones posibles.

5.2.4 PRUEBAS DE CORTE DE SUELO SIN PLÁSTICO CON CUCHILLA EN TEXTURÓMETRO

Con el objeto de determinar la energía unitaria (J/mm) necesaria para realizar el corte de plástico sobre suelo sin considerar el gasto invertido en este último, se realizaron las mismas pruebas del apartado anterior pero ahora excluyendo la variable plástico procediéndose con la metodología antes descrita. La diferencia entre energía unitaria de corte de plástico sobre suelo y la energía unitaria de corte de suelo, proporcionará aquella requerida solo para el plástico, teóricamente.

En este caso los ensayos al no existir el factor plástico se reducen a la mitad, es decir 320, que corresponden a 5 repeticiones de las 64 combinaciones posibles. Los parámetros a evaluar también se reducen, ahora sólo se tendrán datos relativos a: fuerza máxima (N) alcanzada en el suelo al penetrar los 100 mm prefijados y energía empleada en la penetración (J), considerando la misma distancia de carrera del brazo móvil en el texturómetro.

5.2.5 PRUEBAS DE CORTE DE PLÁSTICO SOBRE SUELO CON CUCHILLA EN CAÍDA LIBRE

Con el objeto de comparar la conveniencia en términos energéticos entre corte de plástico sobre suelo con cuchilla en estado casi estático (caso texturómetro), contra cuchilla en estado dinámico (caída libre), analizaremos como segunda parte la energía y desplazamiento necesario al interior del suelo para realizar el corte efectivo del plástico. Para ello se sustituye el texturómetro como equipo de análisis y utilizaremos la gravedad terrestre como elemento que proporcione la aceleración necesaria para generar la fuerza de inercia requerida en el corte del plástico.

Para realizar los ensayos se diseñó y construyó un dispositivo que consiste de una varilla metálica por donde el cortador, que tiene la forma demandada en el diseño del módulo de trasplante, cae libremente guiado por un buje (Fig. 5.9). El extremo de la varilla se situó en una base circular que permite soportarse sobre el plástico, la base tiene dimensiones que permiten al cortador en caída libre realizar el corte sin que la cercanía de las paredes del cortador a la base afecten el proceso, además la varilla está graduada de manera que el operario pueda seleccionar la altura de caída por simple observación.

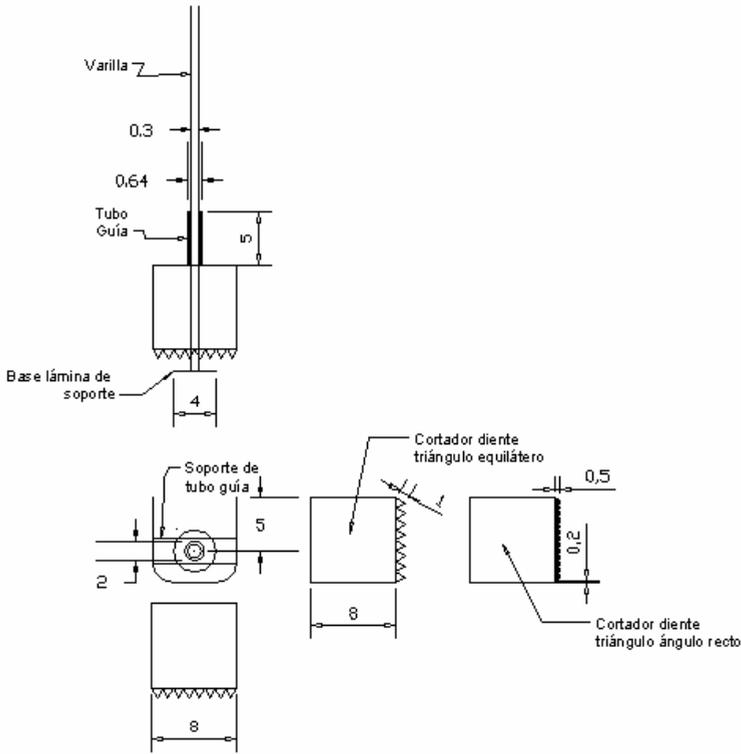


Fig. 5.9 Diseño del cortador para realizar los ensayos de corte de plástico en caída libre

Las variables que se utilizarán serán similares a las descritas en los párrafos anteriores sólo que ahora intervendrá la masa del cortador (M1, M2 y M3) y la altura de caída que influye en los valores requeridos de energía. En el mismo contexto ahora no se evaluarán los parámetros de: fuerza máxima soportada por el plástico, y fuerza máxima en el suelo al no disponer de células de carga o acelerómetros al efecto. Se medirán únicamente: corte efectuado (si/no), profundidad de corte (cm) y altura de caída (m). La energía requerida se obtiene de la siguiente relación:

$$E_p = mgh$$

Donde:

- E_p = Energía potencial convertida en el corte (J)
m = Masa del cortador (kg)
g = Valor de la aceleración de la gravedad (m/s²)
h = Altura de caída del cortador (m)

El procedimiento de evaluación será un tanto diferente a lo descrito en los anteriores análisis, ahora se buscará la altura de caída como variable dependiente de las variables independientes antes usadas: cuchilla, plástico, suelo, humedad y compactación, para alcanzar el corte total del plástico. Siguiendo las recomendaciones de la norma mexicana NMX-E-099-1990, es necesario realizar iteraciones de las pruebas variando la altura (incrementos de 5 cm), a una masa determinada, hasta que el corte se realice de manera correcta. Al conseguirlo, se realizan 3 repeticiones más con la altura obtenida para corroborar que el valor alcanzado es el necesario para realizar el corte correcto, además se registra el último valor de altura ensayado donde se realizó corte incorrecto, por lo que los resultados serán; 5 repeticiones que incluyen 4 cortes correctos a determinada altura y uno incorrecto con la altura inmediata inferior ensayada. Corte correcto representa el desprendimiento total del plástico donde actúa la cuchilla, cualquier zona donde el plástico no alcance la ruptura se considerará como incorrecto. Otro de los parámetros a evaluar es la profundidad de corte en el suelo por lo que se construyó un elemento graduado que permite antes de retirar el cortador determinar rápidamente el valor alcanzado (Fig. 5.10).

Se estudiaron tres variables de masa, dentro de los rangos permisibles de las restricciones del módulo de trasplante; masa 1

(M1) igual a 0,6 kg, masa 2 (M2) igual a 0,8 kg y masa 3 (M3) igual a 1 kg, la variación se logra agregando objetos sólidos de peso conocido de 0,2 kg para alcanzar los valores de M1, M2, y M3 que responden al intervalo estimado del peso del cortador.

Involucrando las posibilidades de las variables independientes resultan las combinaciones siguientes:

- ? Tipo de plástico, 2 niveles (P1 y P2)
- ? Tipo de cuchilla, 2 niveles (C3 y C4)
- ? Tipo de suelo, 2 niveles (S1 y S2)
- ? Grado de humedad, 2 niveles (H1 y H2)
- ? Grado de compactación, 2 niveles del suelo (F1 y F2)
- ? Masas, 3 niveles (M1, M2 y M3)

Como podrá notarse ahora solo intervienen las cuchillas tres y cuatro que fueron las que demostraron menor requerimiento de energía en el estudio de corte de plástico sobre suelo en texturómetro y que coinciden con los resultados de Gutiérrez C. y Serwatowski R. (2006). 480 ensayos resultan de realizar 5 repeticiones de las 96 combinaciones obtenidas. Los parámetros de humedad y compactación del suelo se obtuvieron y evaluaron como anteriormente se describió.



Fig. 5.10. Elemento para evaluar la profundidad de corte en el suelo

Se estableció como límite de altura de caída 2 m, cualquier ensayo que precise altura por arriba de ese valor no será realizado ya que ese valor resultó suficiente en las pruebas realizadas por Gutiérrez C. y Serwatowski R. (2006).

5.2.6 PRUEBAS DE CORTE DE SUELO SIN PLÁSTICO CON CUCHILLA EN CAÍDA LIBRE

De manera similar a los ensayos realizados en el texturómetro, se buscará el determinar la energía unitaria (J/mm) necesaria para realizar el corte de plástico sobre suelo sin considerar el gasto invertido en este último. Por lo que se realizaron las mismas pruebas del apartado anterior excluyendo la variable plástico procediendo con la metodología antes descrita. La diferencia entre energía de corte de plástico sobre suelo y la energía de corte de suelo, proporcionará aquella requerida solo para el plástico, teóricamente. Sin embargo como la energía es un dato obtenido a partir de la altura de caída existen dos formas de determinar la energía requerida solo para el corte de plástico. Primera, de la misma altura que se dejó caer el cortador en el corte de suelo y plástico se procede para el corte de suelo, teóricamente debe existir una diferencia de profundidad y representa la energía invertida en cortar el plástico. La segunda, más sencilla, conseguir la profundidad de corte, con exactitud de $\pm 2,5$ mm, alcanzada en los ensayos de corte de plástico sobre suelo en caída libre variando la altura cada 5 cm, la diferencia de altura representa de forma teórica la energía invertida en cortar el plástico. Se optó por la segunda opción realizando iteraciones para cada combinación hasta alcanzar, a determinada altura, la profundidad de corte registrada en el apartado anterior. Una vez que se llegó a la profundidad buscada se realizaron 5 repeticiones para comprobar

el valor. Analizando los resultados del apartado anterior se nota que una misma combinación de variables muestra diferentes valores de altura para P1 y P2, por lo que cada combinación de las pruebas del presente apartado se ensayarán para P1 y P2, obteniendo resultados de altura para cada uno de ellos.

Ahora los ensayos se reducen a la mitad siendo 240, de los cuales 48 son las posibles combinaciones con 5 repeticiones cada una. Los parámetros a evaluar también se reducen, al no incluir la variable plástico, solo podremos evaluar la altura de caída siguiendo el procedimientos planteado en la norma mexicana NMX-E-099-1990. Los parámetros de humedad y compactación del suelo se obtuvieron y evaluaron como anteriormente se describió.

5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1 *Análisis de las propiedades mecánicas del plástico*

Las figuras 5.11 y 5.12 presentan el comportamiento mostrado por P1 y P2, respectivamente, y constituyen el promedio de los diez ensayos realizados para cada plástico. El *software xtra dimension* genera un total de 375 datos de fuerza y deformación mismos que construyen la gráfica. Los resultados de las propiedades mecánicas de ambos plásticos utilizados en las pruebas de corte se muestran en la tabla 5.2.

Fig. 5.11 Prueba de tensión P1

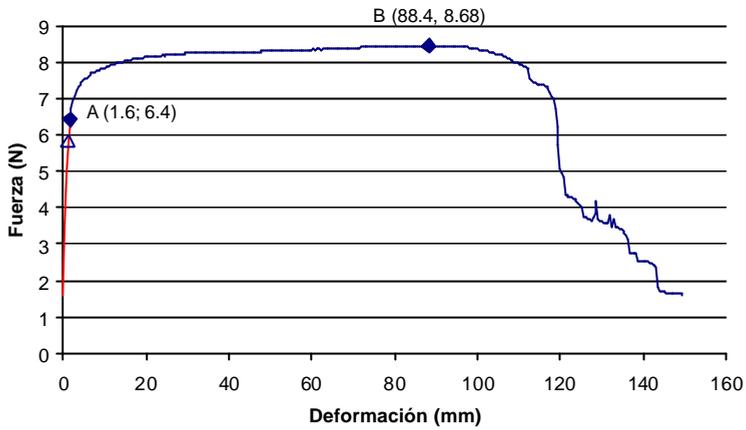


Fig. 5.12 Pruebas de tensión P2

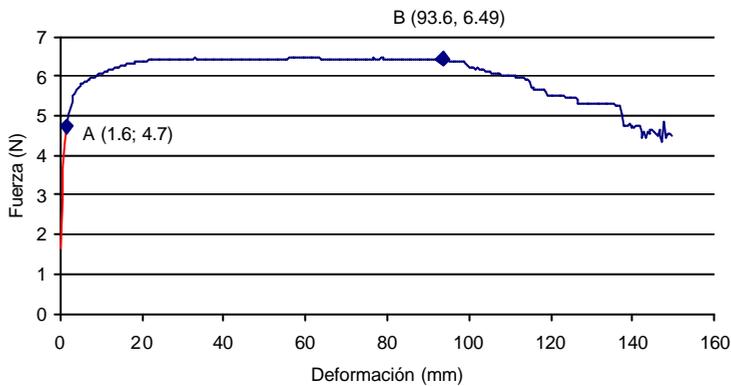


Tabla 5.2 Propiedades mecánicas de los plásticos a utilizar

Plástico 1		Plástico 2	
Tensión de rotura (Pa)	4.8E+06	Tensión de rotura (Pa)	4.7E+06
Elongación	354%	Elongación	374%
Módulo elástico hasta A (Pa)	5.6E+07	Módulo elástico hasta A (Pa)	5.4E+07
Área de sección transversal (m ²)	1.80E-06	Área de sección transversal (m ²)	1.38E-06
Fuerza máxima resistida (N)	8.68	Fuerza máxima resistida (N)	6.49
Deformación (m)	0.0884	Deformación (m)	0.0936

Tabla 5.3. Pruebas mecánicas de tensión en plástico usando el texturómetro

Plástico	Repetición	Gradiente (N/m)	Punto de cedencia (N)	Límite elástico (N)	Fuerza máxima resistida (N)	Deformación hasta la rotura (mm)	Energía (J)
P1	R1	1409	6.1	6.7	7.4	112	0.8
P1	R2	2011	6.9	7.5	8.7	117	1.0
P1	R3	2676	7.2	8.1	8.7	117	1.0
P1	R4	1218	6.1	6.7	7.7	150	1.1
P1	R5	1534	6.7	7.5	8.0	114	0.9
P1	R6	3180	7.6	8.7	9.6	133	1.2
P1	R7	1539	5.6	6.4	7.8	140	1.0
P1	R8	2490	7.9	9.0	10.2	150	1.4
P1	R9	2623	8.2	9.3	9.6	116	1.1
P1	R10	2329	7.7	8.6	9.1	118	1.0
S		2101	7.0	7.9	8.68	127	1.0

Plástico	Repetición	Gradiente (N/m)	Punto de cedencia (N)	Límite elástico (N)	Fuerza máxima resistida (N)	Deformación hasta la rotura (mm)	Energía (J)
P2	R1	1156	5.5	6.3	6.3	150	1.0
P2	R2	2440	6.8	7.9	6.5	98	0.8
P2	R3	1556	6.1	6.6	6.6	93	0.6
P2	R4	1042	4.7	5.6	6.4	138	0.9
P2	R5	862	5.3	5.8	6.6	150	0.9
P2	R6	990	5.5	6.1	6.4	136	0.9
P2	R7	1496	6.5	7.3	7.9	150	1.1
P2	R8	1015	5.8	6.5	6.1	150	1.0
P2	R9	610	4.1	4.7	5.7	150	0.7
P2	R10	1151	4.8	5.6	6.4	150	0.9
S		1232	5.5	6.24	6.49	137	0.9

La tensión de rotura se calcula a partir de la fuerza máxima resistida expuesta en la tabla 5.3. La elongación se define aquí como la razón de la deformación hasta el punto de ruptura (B en la Fig. 5.11) y la longitud inicial expuesta (25 mm). Para el análisis del módulo elástico se tomó en consideración el origen de la gráfica y el límite de proporcionalidad (A en la fig 5.11) obteniendo los valores $\sigma = F/X$, además la longitud inicial expuesta y el área deformada (tabla 5.2). El mismo procedimiento se siguió para el plástico 2. El área bajo la curva hasta el punto de ruptura representa la energía invertida en las diferentes pruebas.

Las propiedades mecánicas resultantes del análisis se encuentran dentro de los intervalos reportados por Shackelford J (1995), y fuentes digitales de información,

www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno/propiedades.

Ambos plásticos muestran propiedades mecánicas muy aproximadas a otros materiales con comportamiento de elástico – plásticos.

Todos los parámetros evaluados resultan inferiores en cantidad para el plástico 2, con la excepción del punto de ruptura ya que presenta mayor porcentaje de elongación. De ellos, un parámetro tiene especial relevancia; la energía requerida para realizar el corte a tensión, como se observa el plástico 2 resulta en menor gasto. Sin embargo la diferencia respecto del plástico 1, tomando en cuenta los valores que forman el promedio, puede no existir, por lo que se sometieron los valores a análisis estadístico con el software statgraphics 4.0 utilizando el análisis de varianza Multifactor ANOVA obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 5.4. Debido al valor 0,0347 de *P-Value* se concluye que si existe diferencia significativa al 95% de certidumbre entre las energías utilizadas para realizar el corte en los plásticos analizados.

Analysis of Variance for Energia - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Plastico	0.1445	1	0.1445	6.18	0.0347
B:Repeticion	0.2305	9	0.0256111	1.10	0.4473
RESIDUAL	0.2105	9	0.0233889		
TOTAL (CORRECTED)	0.5855	19			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Fig. 5.4 Análisis de varianza para plástico 1 y 2, considerando energía como parámetro de evaluación

Multiple Range Tests for Energia by Plastico

Method: 95.0 percent Tukey HSD			
Plastico	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
P2	10	0.88	X
P1	10	1.05	X

Contrast	Difference	+/- Limits
P1 - P2	*0.17	0.154719

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.5 Análisis de rango múltiple para plástico 1 y 2, considerando energía como parámetro de evaluación

Con el mismo programa se realizó un análisis de rango múltiple determinándose que al 95% de confianza esa diferencia significativa entre plásticos se mantiene, véase la columna *homogeneous group* de la tabla 5.5, sin embargo al 99% de confianza el análisis arroja que no existe diferencia significativa, es decir, los plásticos muestran igual comportamiento en términos de energía. Los valores fueron confirmados utilizando además la prueba de *LSD* y *Duncan* de rango múltiple.

En general podemos esperar que el plástico con menor grosor requiera menor cantidad de energía para cortarlo. Sin embargo, como se describió en los materiales y métodos, el corte de plástico sobre suelo tiene variantes de corte sólido y corte por desgarre donde se involucra la deformación. En este caso el parámetro a satisfacer no será tanto la energía, más bien el desplazamiento de la cuchilla necesario para realizar un corte efectivo. Al observar los promedios de la tabla 5.2 notamos una diferencia de 10 mm entre el plástico 1 y 2 en el punto de ruptura, que no se puede despreciar. Se realizó el análisis estadístico para el parámetro *punto de ruptura* encontrándose que no existe diferencia significativa al 95% de certidumbre (Tabla 5.6) entre ambos plásticos. Sin embargo al 99% de certidumbre se consideran dentro de un grupo homogéneo (Tabla 5.7).

Analysis of Variance for Punto de ruptura - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Plastico	480.2	1	480.2	1.68	0.2274
B:Repeticion	3953.8	9	439.311	1.54	0.2665
RESIDUAL	2574.8	9	286.089		
TOTAL (CORRECTED)	7008.8	19			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Tabla 5.6 Análisis de varianza para plástico 1 y 2, considerando punto de ruptura como parámetro de evaluación

Multiple Range Tests for Punto de ruptura by Plastico

Method: 99.0 percent LSD					
Plastico	Count	LS Mean	Homogeneous Groups		
P1	10	126.7	X		
P2	10	136.5	X		
Contrast			Difference	+/-	Limit
P1 - P2			-9.8		24.5826

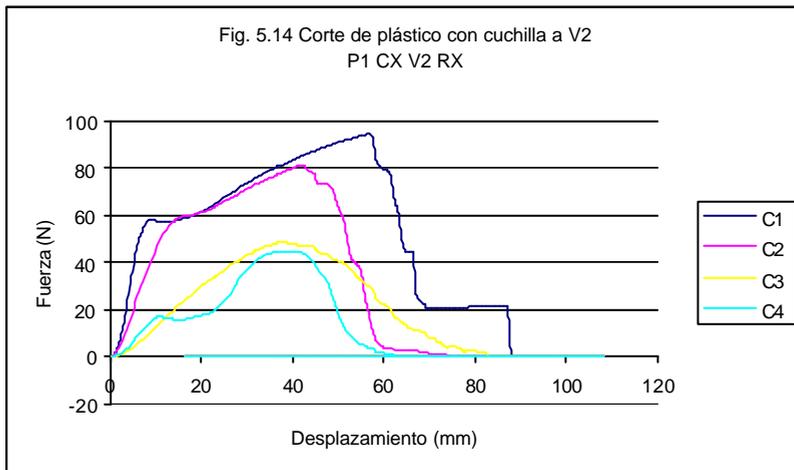
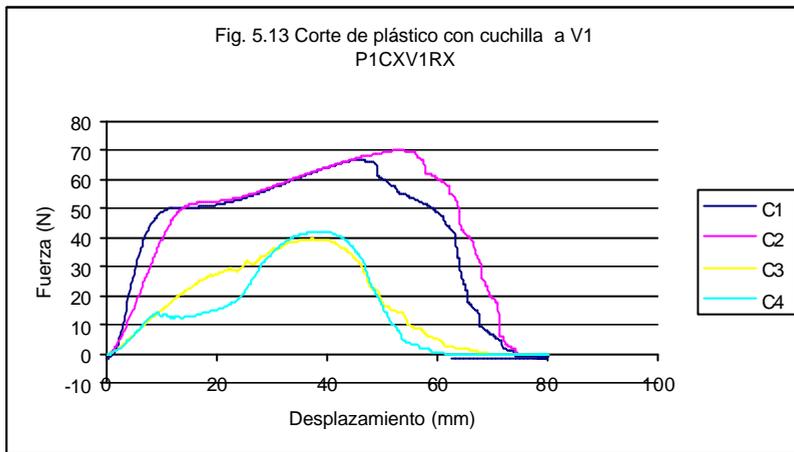
* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.7 Análisis de rango múltiple para plástico 1 y 2, considerando punto de ruptura como parámetro de evaluación

5.3.2 Análisis del corte de plástico con cuchilla en texturómetro

Los valores obtenidos de los 80 ensayos realizados se muestran en el Apéndice I, como se podrá observar algunas combinaciones no pudieron ser estudiadas debido al alto porcentaje de elongación con que cuenta el plástico 2 aunado a ello los perfiles de las cuchillas 1 y 2 tienden más a extender el plástico que a cortarlo, y el reducido desplazamiento con que cuenta el brazo del texturómetro. Las figuras 5.13 y 5.14 muestran el comportamiento de las diferentes cuchillas (CX) a V1 y V2, respectivamente, con los valores de las 5 repeticiones promediadas (RX). Tanto C1 como C2 muestran una tendencia de adopción de las propiedades mecánicas de materiales elástico – plásticos. Para C3 no existe un

punto claro de corte por los dientes de la cuchilla, que si sucede en el primer pico de C4, en la cresta de ambas cuchillas se presenta el punto de ruptura que sucede aproximadamente a los 40 mm. Al comparar ambas figuras se puede destacar que se requiere mayor energía (área bajo la curva) para el corte a velocidad 2 (10 mm/s) que a V1 (1 mm/s).



En la tabla 5.8 se muestran los valores promedio de las diferentes combinaciones estudiadas. El valor más alto de energía se registra

en la combinación P2C2V2, elevado grado de elongación mezclado con un perfil de borde recto y alta velocidad requerirán mayor energía para efectuar un corte efectivo. Por el contrario menor valor de energía se requiere al utilizar la combinación P1C4V1. Plástico con menor elongación, cuchilla con perfil dentado y baja velocidad es lo deseable. Se puede observar que las cuchillas 3 y 4, resultan con menor requerimiento de energía y desplazamiento al punto de ruptura, comparadas con las cuchillas 1 y 2, esto debido al perfil cortante. Las figuras 5.15 y 5.16 muestran la deformación física de las combinaciones antes mencionadas, obsérvese como en la primera el plástico presenta una fase de deformación plástica muy notoria comparada con la de la segunda figura.

Tabla 5.8 Valores promedio para el estudio de corte de plástico con cuchilla en texturómetro

Plastico	Cuchilla	Velocidad	Límite elástico (N)	Esfuerzo último (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente	Energía (J)
P1	C1	V1	50.9	69.9	53.4	7445	3.4
P1	C1	V2	58.5	97.7	65.5	11304	5.0
P1	C3	V1	23.8	40.4	19.0	3397	0.7
P1	C3	V2	38.5	50.0	18.6	3421	1.0
P2	C1	V1					
P2	C1	V2					
P2	C3	V1	16.5	27.7	26.2	1928	0.7
P2	C3	V2	24.5	31.9	29.8	2041	0.8

Plastico	Cuchilla	Velocidad	Límite elástico (N)	Esfuerzo último (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente	Energía (J)
P1	C2	V1	51.3	72.4	58.3	4507	3.0
P1	C2	V2	59.3	83.6	47.4	5259	2.8
P1	C4	V1	14.6	43.1	19.7	4115	0.6
P1	C4	V2	17.4	45.3	19.1	4512	0.7
P2	C2	V1					
P2	C2	V2	39.9	61.0	113.9	2654	5.4
P2	C4	V1	9.0	32.9	27.1	2390	0.7
P2	C4	V2	13.0	37.3	27.1	3028	0.7

Plastico	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)
P1	37.6	2.1
P2	38.8	1.7

Cuchilla	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)
C1	59.5	4.2
C2	67.0	3.7
C3	23.4	0.8
C4	23.2	0.7

Velocidad	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)
V1	34.0	1.5
V2	34.6	2.3



Fig. 5.15 Probetas de plástico después de cortadas Combinación P2C2V2



Fig. 5.16 Probetas de plástico después de cortadas Combinación P1C4V1

Considerando parámetros de manera individual tenemos; a más alta velocidad de corte mayor cantidad de energía requerida; cuchilla con perfil dentado en forma de triángulo rectángulo (C4) requiere menor cantidad de energía y, al contrario de la evaluación de las propiedades mecánicas de los plásticos, el plástico P2 requiere mayor cantidad de energía que P1 al combinarse con las otras variables. El último tiene que ver con el fenómeno de elongación ya que en la gráfica de “fuerza – desplazamiento” habrá mayor cantidad de área bajo la curva, aunque en términos de fuerza no precise gran magnitud.

5.3.3 *Análisis de corte de plástico sobre suelo con cuchilla en texturómetro*

En el apéndice I se encuentran los resultados de los ensayos realizados, que representan a todas las combinaciones posibles de los parámetros; plástico, cuchilla, suelo, humedad, compactación, velocidad y repetición. En el mismo apéndice se muestra un resumen con los valores promediados de las 5 repeticiones de cada una de las 128 combinaciones. La tabla 5.9 presenta parte del contenido del apéndice I, en 2 de las columnas se muestran los valores de humedad para los dos procedimientos realizados; sensor digital y % gravimétrico. Este último no se consideró necesario para H1, por lo que sólo se evaluó con el sensor digital.

Tabla 5.9 Resultados de las 5 repeticiones de la combinación C1H1S1F1P1V1

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza última en el plástico (N)	Fuerza última en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación (kPa)
C1	H1	S1	F1	P1	V1	R1	111.0		38.7	6.5	7.3	No evaluada	635
C1	H1	S1	F1	P1	V1	R2	133.7		40.9	8.1			
C1	H1	S1	F1	P1	V1	R3	110.0		31.1	8.0			
C1	H1	S1	F1	P1	V1	R4	148.0		29.2	8.9			
C1	H1	S1	F1	P1	V1	R5	121.0		32.0	8.6			

En la última columna se muestra la compactación del suelo que resulta de promediar los 8 datos registrados cada 1,5 cm en los 12 cm del suelo utilizado para el ensayo de cada combinación, por conveniencia se usó la misma compactación para realizar las 5 repeticiones sin que esto afecte notablemente los resultados ya que en cada probeta había suficiente espacio para cada ensayo. El

apéndice II muestra los resultados de compactación del suelo para las combinaciones estudiadas, se podrá observar que los valores no muestran una tendencia clara al pasar de compactación 1 a 2, inclusive si se analizan por suelo o humedad. Como ya se comentó en los materiales y métodos la compactación del suelo no resulta ser uniforme en el suelo a diferentes profundidades debido a sus propiedades mecánicas.

En la tabla 5.10 se muestran los valores promedio de energía de los ensayos realizados para cada variable involucrada. A diferencia de los resultados obtenidos en el apartado anterior donde la cuchilla 4 muestra menor requerimiento de energía, al involucrar los diferentes suelos, humedades y compactaciones, la cuchilla 3 precisa de menor energía para realizar un corte efectivo del plástico, inclusive la cuchilla 2. H2 muestra que requiere de menos energía para efectuar el corte de manera satisfactoria, esto se explica al tomar en cuenta que en este caso las partículas del suelo ofrecen menor resistencia a la penetración. El suelo franco – arcilloso a PMP crea terrones difíciles de mullir por lo que el corte requiere en H1 de mayor energía como se evidencia en la misma tabla. La Mecánica de suelos es un área de investigación muy activa y compleja aquí nos limitamos a observar la mayor diferencia en términos de energía requerida para el corte imputable al factor “tipo de suelo” frente a cualquiera de los otros factores en el ensayo. La compactación del suelo sí influye en la energía requerida para el corte y es el segundo factor que demanda mayor gasto al comparar los resultados de F1 y F2. El plástico 2 sigue mostrando menor requerimiento de energía al comparar la variable con las otras. Sin embargo esa diferencia ahora resulta pequeña. Por último, la velocidad también afecta los resultados y se manifiesta que con menor velocidad de la cuchilla se requiere

menor cantidad de energía para el corte. C3 presenta menor fuerza al punto de ruptura del plástico, lo mismo para H1, S2, F1, P1, V2.

Tabla 5.10 Resumen de las energías promedio de las variables analizadas en el corte de plástico sobre suelo con texturómetro

Factor	Energía Promedio (J)	Deformación al punto de rotura (mm)	Fuerza máxima soportada por el plástico (N)
C1	6,5	46,7	109,7
C2	5,7	44,7	98,1
C3	5,4	36,6	75,1
C4	5,9	40,0	90,1

H1	6,4	39,3	106,8
H2	5,4	44,7	79,7

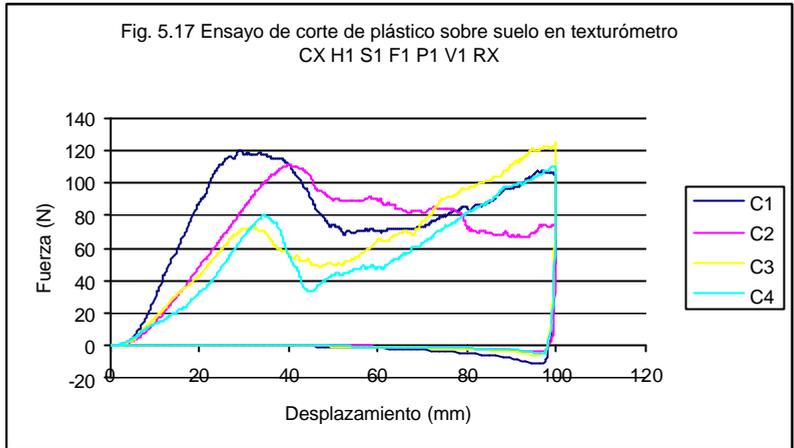
S1	7,3	47,8	103,6
S2	4,4	36,2	82,9

Factor	Energía Promedio (J)	Deformación al punto de rotura (mm)	Fuerza máxima soportada por el plástico (N)
P1	5,9	39,8	97,1
P2	5,8	44,2	89,4

V1	5,7	42,2	104,9
V2	6,1	41,8	94,7

F1	5,0	44,8	85,1
F2	6,8	39,2	101,4

La figura 5.17 muestra un ejemplo de los diferentes ensayos de corte donde las líneas representan el promedio de las 5 repeticiones para cada cuchilla cortando el plástico 1, suelo franco arcilloso, compactación del suelo propio, humedad a CC y velocidad de 1 mm/s. Obsérvese como para C3 y C4 es claro el pico que representa el corte de plástico, continuándose con la pendiente ascendente que representa la resistencia a la penetración ofrecida por el suelo. Remítase al apéndice I, donde es posible comparar las demás gráficas correspondientes a los ensayos de las otras combinaciones.



Ahora considerando el punto de ruptura como parámetro a evaluar se sometieron los resultados al análisis estadístico ANOVA. Los resultados muestran diferencias significativas al 95% de certidumbre de todas las variables a excepción de la velocidad (Tabla 5.11). Como líneas atrás se comentó, a mayor velocidad mayor gasto de energía, sin embargo el punto de ruptura no muestra variaciones importantes al utilizar V1 o V2 (Véase tabla 5.10), lo cual para efectos del diseño del cortador es algo favorable. En la misma figura obsérvese que la velocidad no muestra diferencia significativa al interactuar con las otras variables, si se ve afectado el punto de ruptura al interactuar las cuchillas con las otras variables, excepto con la velocidad. La humedad produce cambios al interaccionar con la compactación y el suelo, en este último no se muestra diferencia significativa al interactuar con la compactación, plástico y velocidad.

Capítulo 5. Estudio del corte de la película de plástico sobre suelo acolchado

Analysis of Variance for PUNTO RUPTURA mm - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:CUCHILLA	9948.86	3	3316.29	60.55	0.0000
B:HUMEDAD	4742.6	1	4742.6	86.59	0.0000
C:SUELO	21697.0	1	21697.0	396.16	0.0000
D:COMPACTACION	5070.38	1	5070.38	92.58	0.0000
E:PLASTICO	3025.86	1	3025.86	55.25	0.0000
F:VELOCIDAD	21.4622	1	21.4622	0.39	0.5313
G:REPETICION	123.776	4	30.944	0.57	0.6881
INTERACTIONS					
AB	1997.38	3	665.792	12.16	0.0000
AC	7314.72	3	2438.24	44.52	0.0000
AD	1227.93	3	409.31	7.47	0.0001
AE	752.79	3	250.93	4.58	0.0035
AF	102.542	3	34.1807	0.62	0.5996
BC	4151.41	1	4151.41	75.80	0.0000
BD	2683.86	1	2683.86	49.00	0.0000
BE	54.756	1	54.756	1.00	0.3174
BF	67.8602	1	67.8602	1.24	0.2657
CD	70.4902	1	70.4902	1.29	0.2566
CE	32.6706	1	32.6706	0.60	0.4399
CF	216.923	1	216.923	3.96	0.0466
DE	135.424	1	135.424	2.47	0.1158
DF	145.542	1	145.542	2.66	0.1031
EF	25.0431	1	25.0431	0.46	0.4989
RESIDUAL	32970.2	602	54.7677		
TOTAL (CORRECTED)	96579.4	639			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Tabla 5.11 Análisis de varianza para las combinaciones de corte de plástico sobre suelo en texturómetro, en términos de punto de ruptura.

Multiple Range Tests for PUNTO RUPTURA mm by CUCHILLA

Method: 95.0 percent LSD

CUCHILLA	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
C3	160	36.6331	X
C4	160	39.9562	X
C2	160	44.6906	X
C1	160	46.6863	X

Contrast	Difference	+/- Limits
C1 - C2	*1.99563	1.62168
C1 - C3	*10.0531	1.62168
C1 - C4	*6.73	1.62168
C2 - C3	*8.0575	1.62168
C2 - C4	*4.73438	1.62168
C3 - C4	*-3.32312	1.62168

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.12, a)

Capítulo 5. Estudio del corte de la película de plástico sobre suelo acolchado

Multiple Range Tests for PUNTO RUPTURA mm by PLASTICO

Method: 95.0 percent LSD			
PLASTICO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
P1	320	39.8172	X
P2	320	44.1659	X
Contrast			Difference +/- Limits
P1 - P2			*-4.34875 1.1467

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.12, b)

Multiple Range Tests for PUNTO RUPTURA mm by SUELO

Method: 95.0 percent LSD			
SUELO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
S2	320	36.1691	X
S1	320	47.8141	X
Contrast			Difference +/- Limits
S1 - S2			*11.645 1.1467

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.12, c)

Multiple Range Tests for PUNTO RUPTURA mm by HUMEDAD

Method: 95.0 percent LSD			
HUMEDAD	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
H1	320	39.2694	X
H2	320	44.7138	X
Contrast			Difference +/- Limits
H1 - H2			*-5.44438 1.1467

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.12, d)

Capítulo 5. Estudio del corte de la película de plástico sobre suelo acolchado

Multiple Range Tests for PUNTO RUPTURA mm by COMPACTACION

Method: 95.0 percent LSD

COMPACTACION	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
F2	320	39.1769	X
F1	320	44.8063	X

Contrast	Difference	+/- Limits
F1 - F2	*5.62938	1.1467

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.12, e)

Multiple Range Tests for PUNTO RUPTURA mm by VELOCIDAD

Method: 95.0 percent LSD

VELOCIDAD	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
V2	320	41.8084	X
V1	320	42.1747	X

Contrast	Difference	+/- Limits
V1 - V2	0.36625	1.1467

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.12, f)

Tabla 5.12 Análisis de rango múltiple de las variables; a) cuchilla, b) plástico, c) suelo, d) humedad, e) compactación y f) velocidad, en términos del punto de ruptura.

En la tabla 5.12, a) se muestra que ninguna de las cuchillas forma un grupo homogéneo, la de menor punto de ruptura es la cuchilla 3 con promedio de 36,6mm, y la de mayor es la cuchilla 1 con 46,6, 10 mm de diferencia. Los plásticos, suelos, humedades y compactaciones no forman un grupo homogéneo entre si (Tabla 5.12 incisos b, c, d y e). La velocidad, que ya se había comentado, no muestra diferencias significativas en el punto de ruptura al variar de V1 a V2, formando un grupo homogéneo (Tabla 5.12 inciso f). Nótese que no se sobrepasa en ninguno de los casos los 50 mm de profundidad de corte, valor a tomar en cuenta para el diseño del cortador. La figura 5.18 inciso a) hasta o), muestran de manera gráfica las interacciones entre las variables estudiadas en términos

del punto de ruptura, compruébese que aquellas donde interviene la velocidad se muestra un comportamiento casi homogéneo.

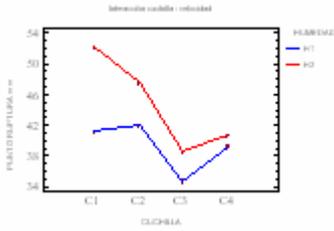


Fig. 5.24, a)

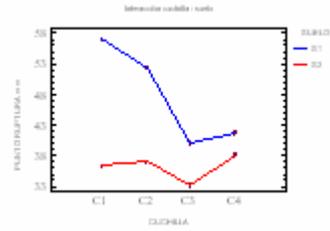


Fig. 5.24, b)

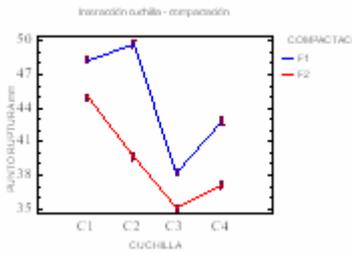


Fig. 5.18, c)

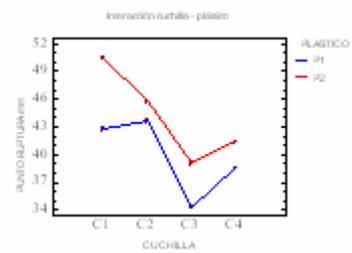


Fig. 5.18, d)

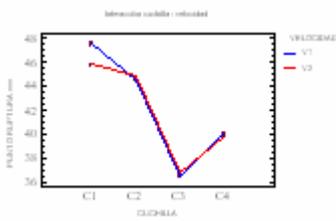


Fig. 5.18, e)

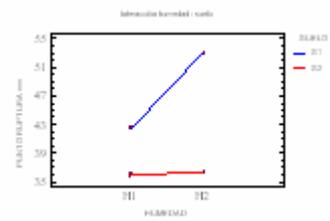


Fig. 5.18, f)

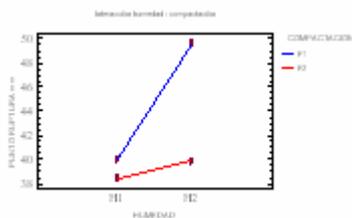


Fig. 5.18, g)

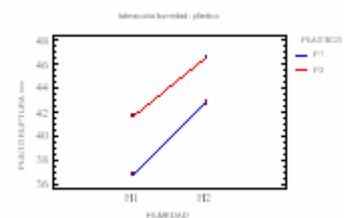


Fig. 5.18, h)

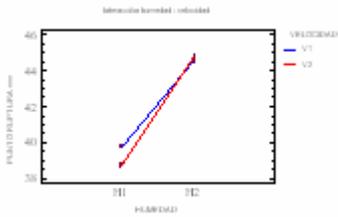


Fig. 5.18, i)

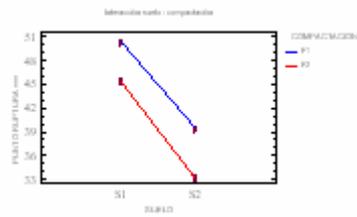


Fig. 5.18, j)

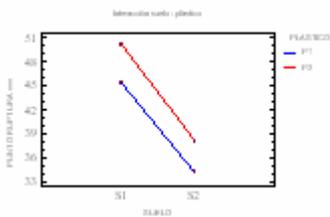


Fig. 5.18, k)

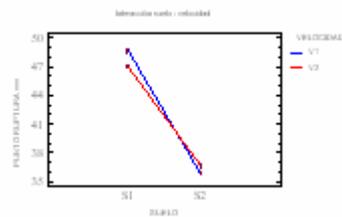


Fig. 5.18, l)

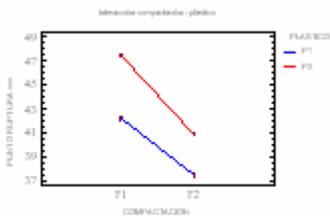


Fig. 5.18, m)

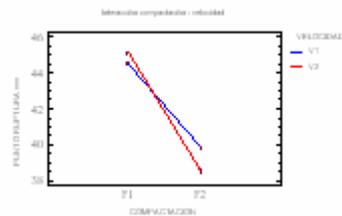


Fig. 5.18, n)

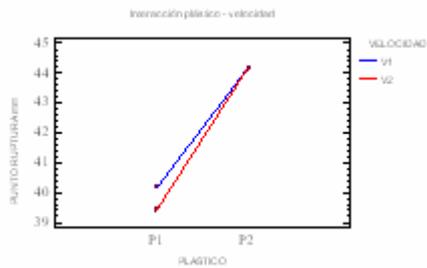
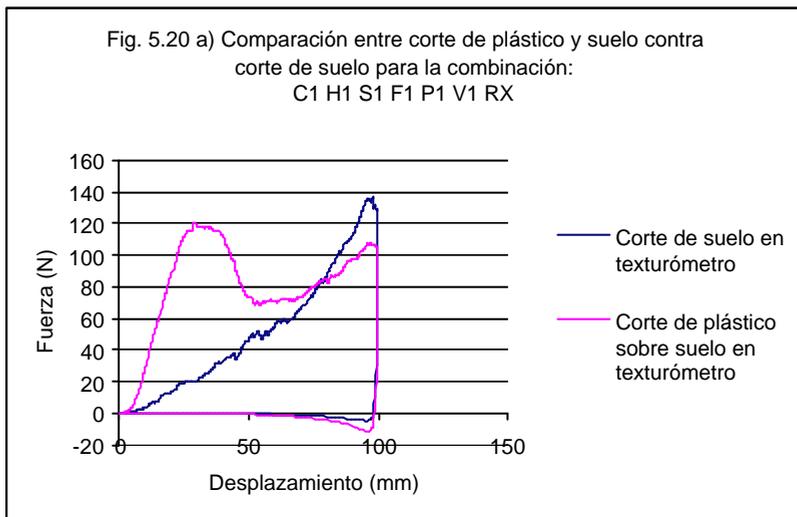
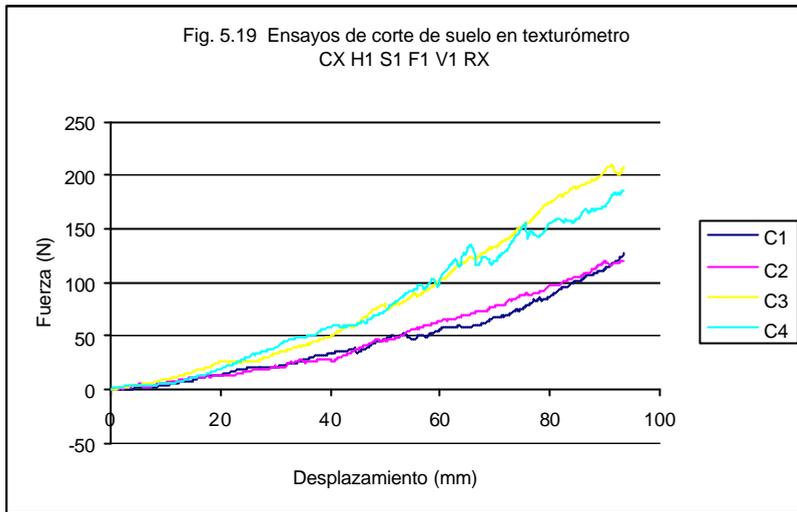


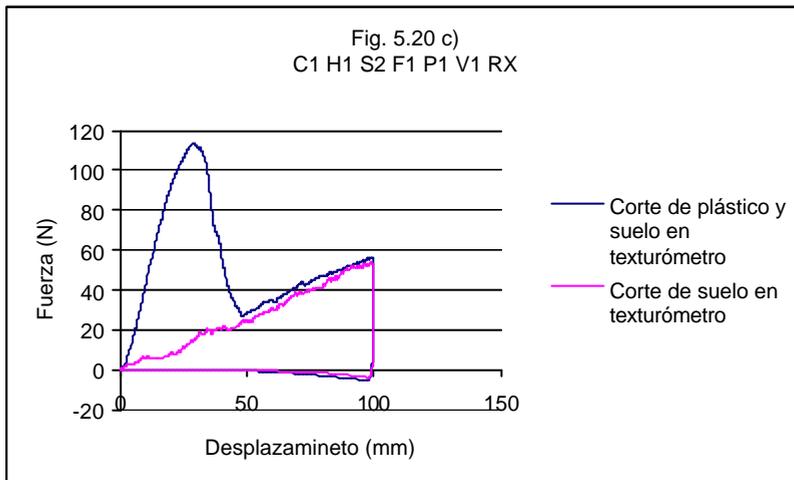
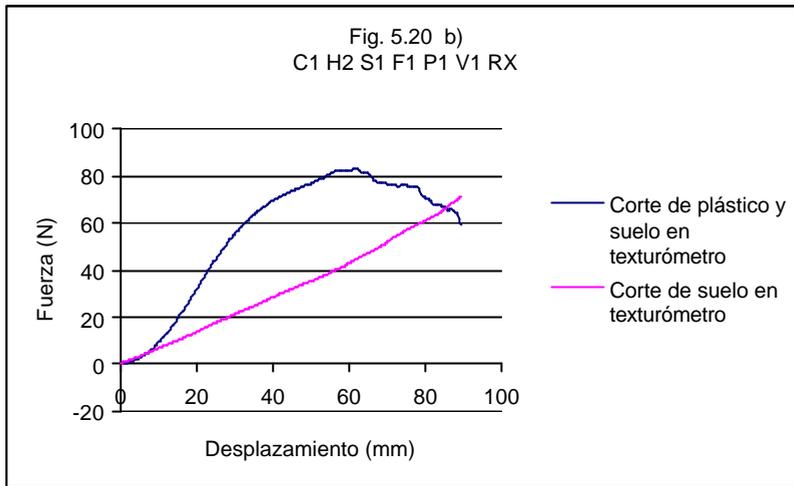
Fig. 5.18, o)

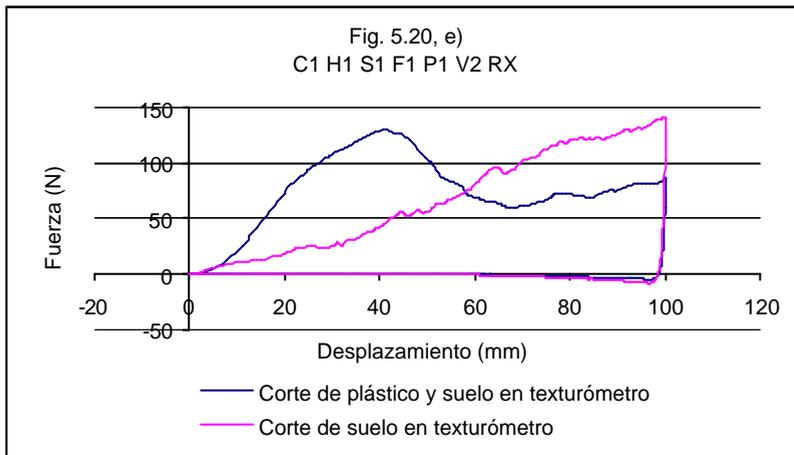
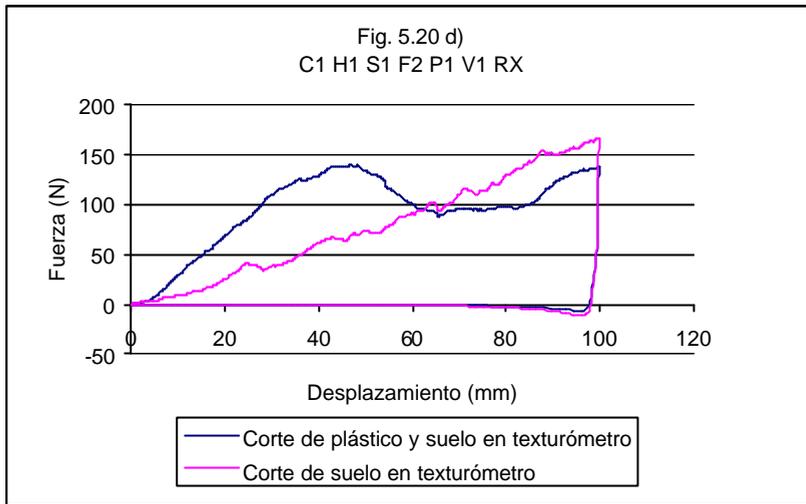
Fig. 5.18 Gráficas de las interacciones entre las variables estudiadas en términos del punto de ruptura.

5.3.4 *Análisis de corte de suelo con cuchilla en texturómetro*

Como recordaremos en los materiales y métodos se justificó el analizar este caso con el objeto de conocer la diferencia de energía entre corte de plástico sobre el suelo y corte de suelo. El proceso de análisis seguido es similar al descrito en el apartado anterior, el apéndice III muestra un resumen de los ensayos realizados así como los resultados de cada una de las 5 repeticiones de las combinaciones estudiadas. Al final del apéndice también se encuentran las gráficas que representan los ensayos realizados, en la figura 5.19 se muestra un ejemplo de los diferentes ensayos de corte de suelo donde las líneas representan el promedio de las 5 repeticiones para cada cuchilla cortando el suelo franco arcilloso, compactación del suelo propio, humedad a CC y velocidad de 1 mm/s. Obsérvese como para C3 y C4 se requiere de mayor energía comparativamente con C1 y C2, esto se explica considerando que esas cuchillas tienden por su geometría a atrapar y arrastras partículas mayores como terrones aumentando la resistencia al movimiento. Remítase al apéndice III para conocer las demás gráficas correspondientes a los análisis de corte de suelo sobre texturómetro. La figura 5.20 incisos a) hasta e) muestra la diferencia entre corte de plástico sobre suelo y corte de suelo para la misma combinación de variables alterando una de ellas para distinguir las diferencias, el área entre la curva de corte de plástico y corte de suelo representa la energía invertida para cortar solo el plástico. Obsérvese como en S2 (Fig. 5.20, c), que representa el suelo franco – arenoso, las curvas coinciden en la porción posterior al corte de plástico al graficar ambas líneas.







De las mismas gráficas en los incisos a), d) y e) se observa que los valores de la línea de corte de suelo supera a las de corte de plástico y suelo (principalmente en S1) lo que demuestra la falta de homogeneidad del suelo y condiciones no repetibles lo que requerirá de un estudio más profundo para su justificación. Es conveniente comentar el gran problema que sucede al trabajar con suelo franco arcilloso con humedad a CC, la adherencia de suelo a

las cuchillas imposibilita prácticamente el trabajo de corte, aunque los ensayos de laboratorio se pudieron llevar a cabo (Fig. 5.21).

En la tabla 5.13 se muestra la energía promedio requerida para el corte de suelo en cada variable independiente. La situación se invierte en comparación al apartado anterior véase como C3 registra ahora la mayor cantidad de energía necesaria (5,7 J), y las cuchillas C1 y C2 resultan con menor energía inclusive que C4. S1 mantiene su demanda energética superior a S2, situaciones similares para humedad, compactación y velocidad.

Tabla 5.13 Resumen de las energías promedio de las variables analizadas en corte de suelo

Cuchilla	Energía Promedio (J)	Humedad	Energía Promedio (J)	Suelo	Energía Promedio (J)	Compactación	Energía Promedio (J)	Velocidad	Energía Promedio (J)
C1	4.7	H1	5.7	S1	6.3	F1	3.9	V1	4.7
C2	4.6	H2	4.4	S2	3.8	F2	6.2	V2	5.3
C3	5.7								
C4	5.2								



Fig. 5.21 Corte de suelo a CC con cuchilla

Se sometió la información al análisis de varianza ANOVA y análisis de rango múltiple, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 5.14. Todas las variables muestran diferencias significativas al 95% de certidumbre, esto coincide con el análisis de corte de plástico sobre suelo ya que ahí solo el plástico no mostraba diferencias. Evaluando las interacciones de las variables con el resto, la cuchilla solo presenta diferencias al interactuar con la humedad y compactación (Tabla 5.14), el suelo no presenta diferencias al interactuar con las otras variables, la humedad muestra diferencias con la cuchilla, compactación y velocidad, la compactación, humedad y velocidad muestran diferencias entre si.

Analysis of Variance for Energia - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Cuchilla	65.4407	3	21.8136	10.77	0.0000
B:Humedad	144.453	1	144.453	71.29	0.0000
C:Suelo	515.113	1	515.113	254.21	0.0000
D:Compactacion	405.9	1	405.9	200.32	0.0000
E:Velocidad	31.5005	1	31.5005	15.55	0.0001
F:Repeticion	1.17081	4	0.292703	0.14	0.9653
INTERACTIONS					
AB	56.9406	3	18.9802	9.37	0.0000
AC	7.65775	3	2.55258	1.26	0.2884
AD	16.4733	3	5.49108	2.71	0.0454
AE	5.52875	3	1.84292	0.91	0.4368
BC	7.02113	1	7.02113	3.47	0.0637
BD	25.4251	1	25.4251	12.55	0.0005
BE	17.9551	1	17.9551	8.86	0.0032
CD	1.5125	1	1.5125	0.75	0.3883
CE	3.6125	1	3.6125	1.78	0.1829
DE	24.8645	1	24.8645	12.27	0.0005
RESIDUAL	587.626	290	2.0263		
TOTAL (CORRECTED)	1918.2	319			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Tabla 5.14. Análisis de varianza para las combinaciones de corte de suelo en texturómetro, en términos de energía

Capítulo 5. Estudio del corte de la película de plástico sobre suelo acolchado

Multiple Range Tests for Energia by Cuchilla

Method: 95.0 percent LSD

Cuchilla	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
C2	80	4.56	X
C1	80	4.65625	X
C4	80	5.17875	X
C3	80	5.69	X

Contrast	Difference	+/- Limits
C1 - C2	0.09625	0.442983
C1 - C3	*-1.03375	0.442983
C1 - C4	*-0.5225	0.442983
C2 - C3	*-1.13	0.442983
C2 - C4	*-0.61875	0.442983
C3 - C4	*0.51125	0.442983

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.15, a)

Multiple Range Tests for Energia by Humedad

Method: 95.0 percent LSD

Humedad	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
H2	160	4.34938	X
H1	160	5.69313	X

Contrast	Difference	+/- Limits
H1 - H2	*1.34375	0.313236

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.15, b)

Multiple Range Tests for Energia by Suelo

Method: 95.0 percent LSD

Suelo	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
S2	160	3.7525	X
S1	160	6.29	X

Contrast	Difference	+/- Limits
S1 - S2	*2.5375	0.313236

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.15, c)

Multiple Range Tests for Energia by Compactacion

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
Compactacion  Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
F1             160         3.895        X
F2             160         6.1475       X
-----
Contrast                               Difference      +/- Limits
-----
F1 - F2                               *-2.2525       0.313236
-----
* denotes a statistically significant difference.
    
```

Tabla 5.15, d)

Multiple Range Tests for Energia by Velocidad

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
Velocidad     Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
V1            160         4.7075       X
V2            160         5.335        X
-----
Contrast                               Difference      +/- Limits
-----
V1 - V2                               *-0.6275       0.313236
-----
* denotes a statistically significant difference.
    
```

Tabla 5.15, e)

Tabla 5.15 Análisis de rango múltiple de las variables; a) cuchilla, b) suelo, c) humedad, d) compactación y e) velocidad, en términos de energía.

Las cuchillas, suelos, humedades, compactaciones y velocidades no forman grupos homogéneos entre si (Ver tabla 5.15) lo cual nuevamente coincide con los análisis de corte de plástico sobre suelo. La figura 5.22 incisos a) hasta j), muestran de manera gráfica las interacciones entre las variables estudiadas, comparándolas con la tabla 5.15 se notará que aquellas que muestran cambios bruscos de pendiente son las que tienen diferencias significativas.

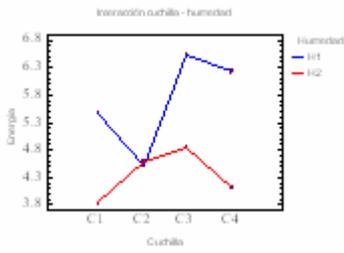


Fig. 5.22, a)

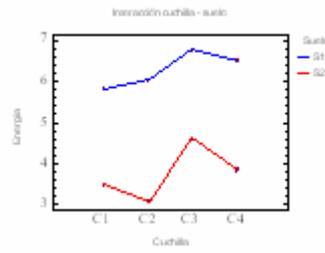


Fig. 5.22, b)

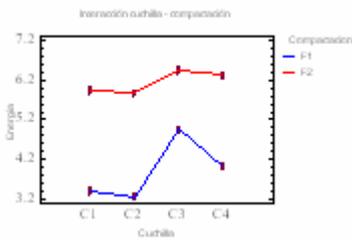


Fig. 5.22, c)

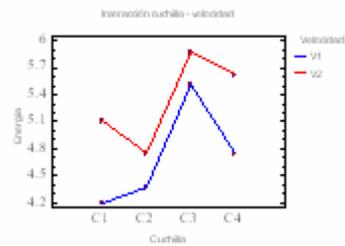


Fig. 5.22, d)

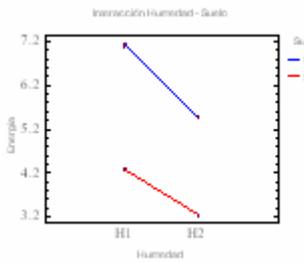


Fig. 5.22, e)

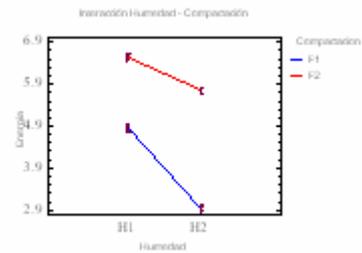


Fig. 5.22, f)

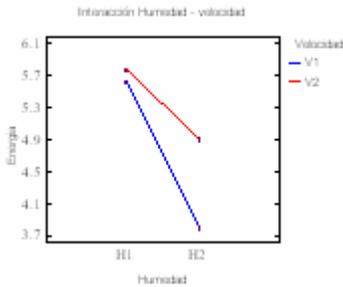


Fig. 5.22, g)

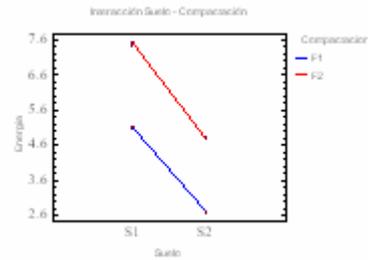


Fig. 5.22, h)

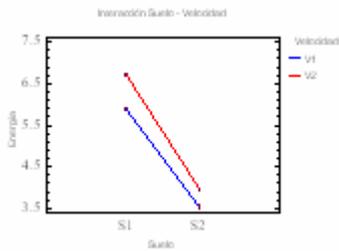


Fig. 5.22, i)

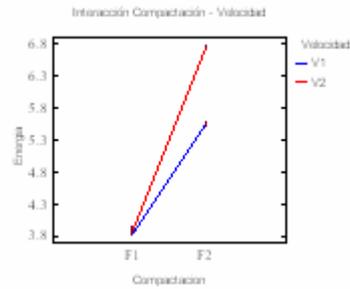


Fig. 5.22, j)

Fig. 5.22 Gráficas de las interacciones entre las variables estudiadas en términos de energía

Si comparamos los valores de la tabla 5.13 con los de la tabla 5.10 podremos construir la tabla 5.16 que representa la energía invertida en el corte de plástico solamente. Las cuchillas 3 y 4 presentan la menor energía efectiva para realizar el corte de plástico, menos de 1J, al obtener las diferencias de corte de plástico sobre suelo y corte de suelo en el texturómetro. Si comparamos ese valor con el obtenido para el corte de plástico sin suelo (Tabla 5.8) confirmamos que los valores son cercanos, C3 0,8 J y C4 0,7 J.

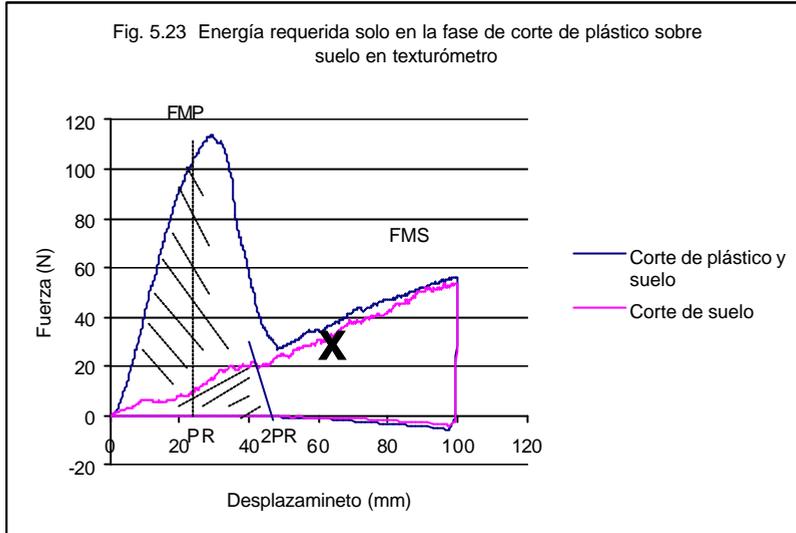
Tabla 5.16 Energía neta utilizada para el corte de plástico en los ensayos del texturómetro

Cuchilla	Diferencia de Energía Promedio (J)		Humedad	Diferencia de Energía Promedio (J)		Suelo	Diferencia de Energía Promedio (J)		Compactación	Diferencia de Energía Promedio (J)		Velocidad	Diferencia de Energía Promedio (J)	
	CPS*	CS**		CPS	CS		CPS	CS		CPS	CS		CPS	CS
C1	6,5	4,7	H1	6,4	5,7	S1	7,3	6,3	F1	5,0	3,9	V1	5,7	4,7
	1,8			0,7			1,0			1,1			1,0	
C2	5,7	4,6	H2	5,4	4,4	S2	4,4	3,8	F2	6,8	6,2	V2	6,1	5,3
	1,1			1,0			0,6			0,6			0,8	
C3	5,4	5,7	* CPS. Corte de plástico y suelo											
-0,3														
C4	5,9	5,2	** CS. Corte de suelo											
	0,7													

Para que C3 resulte negativo sucede algo de lo que ya se comentó de los incisos de la figura 5.20, al realizar el ensayo más allá del punto de ruptura se permite que fenómenos ajenos relacionados con el corte de puro suelo afecten considerablemente los resultados, llegando a resultar que el corte de suelo supere la energía requerida para el corte de plástico y suelo. De aquí la propuesta de buscar un modelo aproximado que represente mejor el corte de plástico sobre suelo, sin llevar la evaluación más allá del punto de ruptura.

El modelo se obtiene si comparamos las energías necesarias para realizar solo el corte de plástico en texturómetro, prescindiendo de la energía utilizada para llegar hasta la profundidad de 100 mm. Es decir, sólo tomamos en cuenta la parte de plástico y suelo hasta que se efectúa el corte. En la figura 5.23 el área marcada con X será excluida y sólo se tomarán en cuenta las áreas marcadas en

diagonal, que pertenecen a corte de plástico y corte de suelo, respectivamente.



Para estimar la energía neta invertida en corte de plástico (líneas diagonales izquierdas es la fig. 5.31) se propone la ecuación:

$$E_{CP} = E_t - 0.05(\overline{FMS})$$

Donde:

- E_{CP} = Energía para corte de plástico (J)
- E_t = Energía total obtenida por integración en las gráficas de los ensayos de corte de plástico sobre suelo en texturómetro (J)
- FMS = Fuerza máxima alcanzada en el suelo (N)

Para obtener la energía correspondiente al plástico y suelo (ambas zonas marcadas con diagonales en la fig. 5.23, es necesario prolongar *artificialmente* la línea de fuerza hasta el eje de las abscisas y suponer que se ha formado un triángulo isósceles, al calcular el área correspondiente se obtendrá la energía buscada. El área se obtiene como sigue:

$$E_{CPS} = (0.001)(PR)(\overline{FMP})$$

Donde:

- E_{CPS} = Energía para corte de plástico y suelo (J)
- PR= Deformación en el punto de máxima tensión (mm)
- FMP Fuerza máxima alcanzada en el plástico correspondiente al punto de ruptura (N)

Los resultados obtenidos para las variables de los ensayos se muestran en la tabla 5.17. Como se notará ahora C3 ya no presenta valor negativo (Tabla 5.16) y se comprueba que las cuchillas dentadas requieren de menos energía neta para corte de plástico. El suelo franco arenoso sigue presentando menor energía neta así como humedad a CC y compactación F2. Para velocidad la situación se invierte presentando ahora V2 mayor requerimiento de energía.

Tabla 5.17 Energía neta unitaria para corte de plástico en texturómetro

FACTOR		Fuerza máxima resistida por el plástico (N) FMP	Fuerza máxima alcanzada en el suelo (N) FMS	Deformación en el punto de máxima tensión (mm)	Energía Promedio total (J) E_t	Energía corte de plástico (J) E_{cp}	Energía corte de plástico y suelo hasta ruptura total (J) E_{Cps}	Eficiencia E_p / E_{Cps}	Energía unitaria para corte de plástico (J/mm)	Energía unitaria para corte de plástico y suelo (J/mm)
CUCHILLA	C1	110	79	47	6.5	2.6	5.1	0.50	0.043	0.085
	C2	98	68	47	5.7	2.3	4.7	0.48	0.038	0.078
	C3	75	69	45	5.7	2.2	4.5	0.51	0.037	0.074
	C4	90	91	41	6.0	1.5	3.8	0.41	0.024	0.063
SUELO	S1	104	106	48	7.3	2.0	4.9	0.37	0.033	0.082
	S2	99	107	48	7.0	1.7	4.7	0.34	0.028	0.079
HUMEDAD	H1	107	86	39	6.4	2.0	4.3	0.46	0.034	0.071
	H2	80	82	45	5.4	1.3	3.7	0.34	0.021	0.061
COMPACTACIÓN	F1	85	62	45	5.0	1.8	3.8	0.48	0.031	0.064
	F2	101	106	39	6.8	1.5	4.0	0.36	0.024	0.066
VELOCIDAD	V1	105	81	42	5.7	1.6	4.4	0.36	0.026	0.074
	V2	95	87	42	6.1	1.7	4.0	0.43	0.028	0.066
PLÁSTICO	P1	97	82	40	5.9	1.9	3.9	0.48	0.031	0.064
	P2	89	87	44	5.8	1.4	4.0	0.37	0.024	0.066

5.3.5 *Análisis de corte de plástico sobre suelo con cuchilla en caída libre*

Un resumen de los promedios de las 5 repeticiones de cada combinación se muestra en el apéndice VI. Además se incluyen los resultados de los 480 ensayos. Como se podrá observar muchos de ellos con la humedad H2 (a capacidad de campo) no pudieron ser realizados ya que era necesaria una altura de caída superior a 2 m, lo que rebasa los límites que impone el diseño del módulo de trasplante.

En la tabla 5.18 se muestran la energía resultante para cada combinación obtenida a partir de la altura de caída y la ecuación $E_p = mgh$. El plástico P2 requiere menor energía comparado con P1. La cuchilla 4 C4 precisa menos energía que C3. La humedad H1 menos que H2. El suelo 2 ahora requiere mayor cantidad de energía comparado con los ensayos del texturómetro. La compactación no muestra diferencias. Y a mayor cantidad de masa más energía consumida en el corte.

Tabla 5.18 Resumen promediado de las variables analizadas en corte de plástico sobre suelo con cuchilla en caída libre.

FACTORES		Profundidad de corte (mm)	Altura de caída (m)	Energía (J)	FACTOR		Profundidad de corte (mm)	Altura de caída (m)	Energía (J)
Plástico	P1	29	1,5	12	Suelo	S1	31	1,3	10
	P2	31	1,1	9		S2	30	1,3	11
Cuchilla	C3	30	1,4	11	Compactación	F1	35	1,3	10
	C4	31	1,3	10		F2	26	1,3	10
Humedad	H1	29	1,1	9	Masa	M1	28	1,5	9
	H2	35	1,7	15		M2	33	1,3	10
						M3	32	1,2	12

Nuevamente valiéndonos de paquete estadístico se realizó el análisis de varianza ANOVA y análisis de rango múltiple, pero solo tomando en cuenta los ensayos realizados con la humedad H1 (PMP). La tabla 5.19 muestra que existe diferencia significativa al 99% de certidumbre en todas las variables estudiadas evaluándolas en términos de energía. Las interacciones muestran diferencias significativas al 95% de certidumbre excepto al interactuar; cuchillas - masas y suelos - plásticos. Por otro lado, no existe homogeneidad al interior de las variables es decir, no se forman grupos semejantes que demanden aproximadamente igual cantidad de energía (Tabla 5.20, incisos a, b, c, d, e y f).

Analysis of Variance for Energia - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Cuchilla	81.6667	1	81.6667	228.67	0.0000
B:Suelo	104.017	1	104.017	291.26	0.0000
C:Compactacion	2.81667	1	2.81667	7.89	0.0054
D:Plastico	742.017	1	742.017	2077.71	0.0000
E:Masa	29.8083	2	14.9042	41.73	0.0000
F:Repeticion	1.05833	4	0.264583	0.74	0.5651
INTERACTIONS					
AB	6.01667	1	6.01667	16.85	0.0001
AC	22.8167	1	22.8167	63.89	0.0000
AD	2.01667	1	2.01667	5.65	0.0184
AE	1.15833	2	0.579167	1.62	0.2000
BC	1.06667	1	1.06667	2.99	0.0854
BD	0.0666667	1	0.0666667	0.19	0.6661
BE	10.8583	2	5.42917	15.20	0.0000
CD	72.6	1	72.6	203.29	0.0000
CE	2.85833	2	1.42917	4.00	0.0197
DE	20.3083	2	10.1542	28.43	0.0000
RESIDUAL	76.7833	215	0.357132		
TOTAL (CORRECTED)	1177.93	239			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Tabla 5.19. Análisis de varianza para las combinaciones de corte de plástico sobre suelo en caída libre, en términos de energía.

Capítulo 5. Estudio del corte de la película de plástico sobre suelo acolchado

Multiple Range Tests for Energia by Cuchilla

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
Cuchilla      Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
C4             120        7.93333      X
C3             120         9.1          X
-----
Contrast                               Difference      +/- Limits
-----
C3 - C4                               *1.16667      0.152068
-----
* denotes a statistically significant difference.

```

Tabla 5.20, a)

Multiple Range Tests for Energia by Suelo

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
Suelo         Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
S2            120        7.85833      X
S1            120         9.175        X
-----
Contrast                               Difference      +/- Limits
-----
S1 - S2                               *1.31667      0.152068
-----
* denotes a statistically significant difference.

```

Tabla 5.20, b)

Multiple Range Tests for Energia by Compactacion

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
Compactacion  Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
F2            120        8.40833      X
F1            120         8.625        X
-----
Contrast                               Difference      +/- Limits
-----
F1 - F2                               *0.216667     0.152068
-----
* denotes a statistically significant difference.

```

Tabla 5.20, c)

Multiple Range Tests for Energia by Plastico

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
Plastico      Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
P2            120        6.75833      X
P1            120        10.275       X
-----
Contrast                               Difference      +/- Limits
-----
P1 - P2                               *3.51667      0.152068
-----
* denotes a statistically significant difference.

```

Tabla 5.20, d)

Multiple Range Tests for Energia by Masa

Method: 95.0 percent LSD

Masa	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
M1	80	8.075	X
M3	80	8.5375	X
M2	80	8.9375	X

Contrast	Difference	+/- Limits
M1 - M2	*-0.8625	0.186245
M1 - M3	*-0.4625	0.186245
M2 - M3	*0.4	0.186245

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.20, e)

Tabla 5.20. Análisis de rango múltiple de las variables; a) cuchilla, b) suelo, c) compactación, d) plástico y e) masa, en términos de energía

En la figura 5.24 incisos a) hasta j) se muestra de forma gráfica las interacciones de las variables evaluadas en términos de energía, es de notarse que M2 requiere mayor cantidad de energía que M3 al combinarse con las otras variables (incisos d, g, i y j). Si hay diferencia notable de energía al interaccionar las cuchillas con los plásticos y los suelos con las compactaciones (incisos c y f), 3J aproximadamente. Plástico 1 requiere mayor energía que P2 (incisos c, f, h. y j), C4 que C3 (incisos a, b, c, y d), pero se confirma estadísticamente que S2 requiere en términos generales menor energía que S1 (a, e, f y g). Al revisar las gráficas relativas a la compactación (incisos b, e, h e i) se observa que la F1 precisa de mayor energía que F2, en este caso el suelo en F2 actúa como contracuchilla de corte facilitando la labor y demandando menor altura de corte que F1.

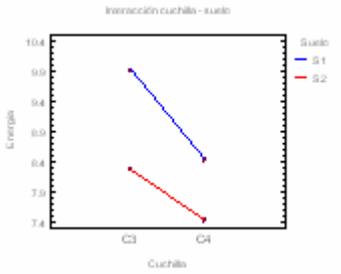


Fig. 5.24, a)

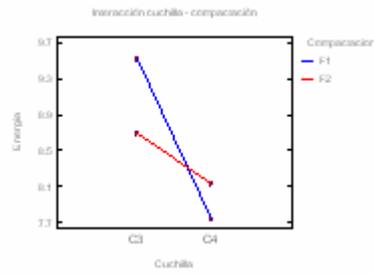


Fig. 5.24, b)

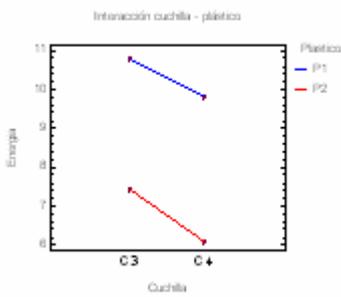


Fig. 5.24, c)

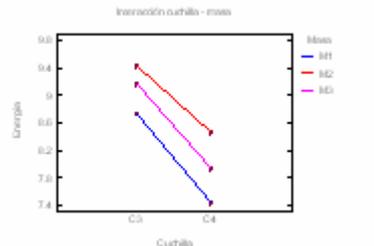


Fig. 5.24, d)

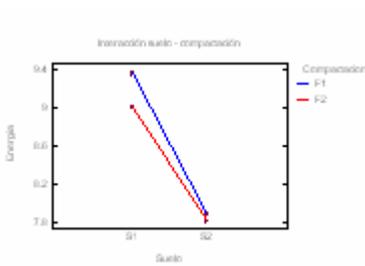


Fig. 5.24, e)

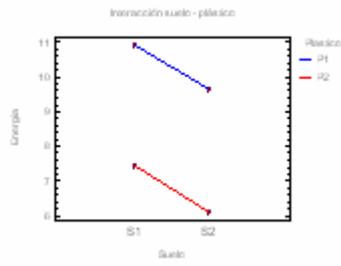


Fig. 5.24, f)

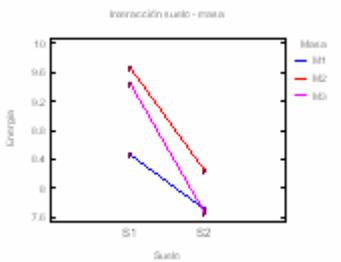


Fig. 5.24, g)

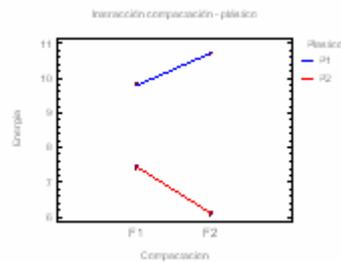


Fig. 5.24, h)

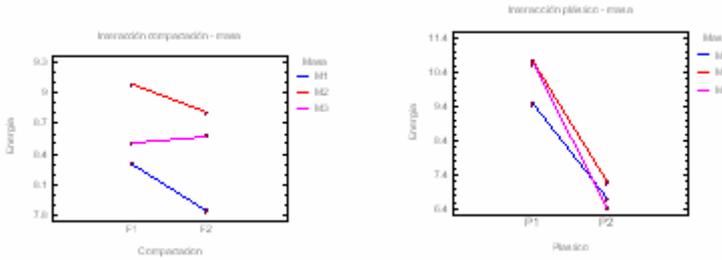


Fig. 5.24 Gráficas de las interacciones entre las variables estudiadas en términos de energía

Otro de los parámetros a evaluar planteado en los materiales y métodos fue la profundidad de corte. Al observar la tabla 5.18 notamos que ninguna de las variables estudiadas supera los 50 mm, valor importante para el diseño del cortador. Al interior de las variables vemos que el plástico 2 presenta mayor profundidad de corte (recuerde sus características de elongación), igual comportamiento para C4. H2 requiere mayor profundidad comparativamente con H1, ya que el suelo húmedo es más susceptible a la penetración. F1 requiere más profundidad de corte que F2, esto explica mejor porque el suelo compactado actúa como contra-cuchilla. S2 presenta ligeramente menor profundidad que S1, lo mismo M1 respecto de M2 y M3. La tendencia muestra que a mayor energía requerida para realizar el corte corresponde mayor profundidad de corte (véase tabla 5.18).

Los datos se sometieron a los mismos procesos estadísticos realizados para el parámetro de energía, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 5.21. Las cuchillas, suelos y plásticos no muestran diferencias significativas entre si al 95% de certidumbre, pero si la compactación y la masa (véase columna p-value, fila *main effects*). Las cuchillas muestran diferencias al

interactuar con las otras variables excepto para la compactación, el suelo no muestra diferencias al interactuar con el plástico pero si con las otras variables (véase tabla 5.21, fila *interactions*). El plástico evidencia diferencias cuando interactúa con las cuchillas y la compactación, no se ve afectado por el suelo y las masas. La compactación no afecta el punto de ruptura al variar la masa o intercambiar la cuchilla, si al cambiar el tipo de plástico o suelo. En la tabla 5.22 se muestra el análisis de rango múltiple realizado para cada variable, las cuchillas forman un grupo homogéneo, al igual que el suelo y plástico (incisos a, b y d, respectivamente). Las masas 1 y 2 forman un grupo homogéneo no así M3 que resulta con la mayor profundidad de corte para esa variable (inciso e), por último el punto de ruptura del plástico si se ve afectado por la compactación (inciso c).

Analysis of Variance for Profundidad de corte - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Cuchilla	0.234375	1	0.234375	1.46	0.2278
B:Suelo	0.009375	1	0.009375	0.06	0.8091
C:Compactacion	13.1134	1	13.1134	81.85	0.0000
D:Plastico	0.376042	1	0.376042	2.35	0.1270
E:Masa	1.66908	2	0.834542	5.21	0.0062
F:Repeticion	2.16267	4	0.540667	3.37	0.0106
INTERACTIONS					
AB	0.610042	1	0.610042	3.81	0.0523
AC	0.009375	1	0.009375	0.06	0.8091
AD	1.48838	1	1.48838	9.29	0.0026
AE	2.00725	2	1.00363	6.26	0.0023
BC	1.00104	1	1.00104	6.25	0.0132
BD	0.198375	1	0.198375	1.24	0.2671
BE	1.54225	2	0.771125	4.81	0.0090
CD	9.40104	1	9.40104	58.68	0.0000
CE	0.06075	2	0.030375	0.19	0.8274
DE	0.760583	2	0.380292	2.37	0.0956
RESIDUAL	34.446	215	0.160214		
TOTAL (CORRECTED)	69.09	239			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Tabla 5.21. Análisis de varianza para las combinaciones de corte de plástico sobre suelo en caída libre, en términos del punto de ruptura.

Capítulo 5. Estudio del corte de la película de plástico sobre suelo acolchado

Multiple Range Tests for Profundidad de corte by Cuchilla

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
Cuchilla      Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
C4             120        2.83583      X
C3             120        2.89833      X
-----
Contrast                               Difference      +/-  Limi
-----
C3 - C4                               0.0625         0.101853
-----

```

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.22, a)

Multiple Range Tests for Profundidad de corte by Suelo

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
Suelo         Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
S1            120        2.86083      X
S2            120        2.87333      X
-----
Contrast                               Difference      +/-  Limits
-----
S1 - S2                               -0.0125         0.101853
-----

```

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.22, b)

Multiple Range Tests for Profundidad de corte by Compactacion

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
Compactacion  Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
F2            120        2.63333      X
F1            120        3.10083      X
-----
Contrast                               Difference      +/-  Limits
-----
F1 - F2                               *0.4675         0.101853
-----

```

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.22, c)

Multiple Range Tests for Profundidad de corte by Plastico

```

-----
Method: 95.0 percent LSD
Plastico      Count      LS Mean      Homogeneous Groups
-----
P1            120        2.8275       X
P2            120        2.90667     X
-----
Contrast                               Difference      +/-  Limits
-----
P1 - P2                               -0.0791667     0.101853
-----

```

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.22, d)

Capítulo 5. Estudio del corte de la película de plástico sobre suelo acolchado

Multiple Range Tests for Profundidad de corte by Masa

Method: 95.0 percent LSD			
Masa	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
M1	80	2.80625	X
M2	80	2.81	X
M3	80	2.985	X

Contrast	Difference	+/- Limits
M1 - M2	-0.00375	0.124744
M1 - M3	*-0.17875	0.124744
M2 - M3	*-0.175	0.124744

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.22, e)

Tabla 5.22. Análisis de rango múltiple de las variables; a) cuchilla, b) suelo, c) compactación, d) plástico y e) masa, en términos del punto de ruptura

En la figura 5.25 se muestran de manera gráfica las interacciones entre las variables del estudio realizado, para las cuchillas existen diferencias al interactuar con las otras variables excepto con la compactación, es decir la diferencia en el punto de ruptura al cambiar de C3 a C4 es proporcional en ambas compactaciones (inciso b). Para el suelo no existen diferencias importantes al pasar de P1 a P2 (inciso f). La compactación no afecta el punto de ruptura al cambiar de cuchilla o masa (incisos b e i), el plástico no modifica el punto de corte si se cambia la masa o el suelo (inciso f y j). Por último la masa altera el punto de ruptura si se interactúa con la cuchilla o el suelo (inciso d y g).

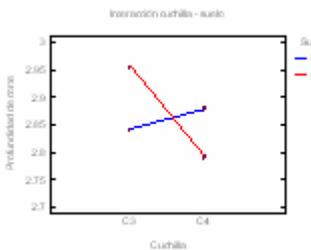


Fig. 5.25, a)

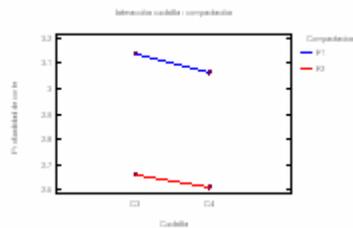


Fig. 5.25, b)

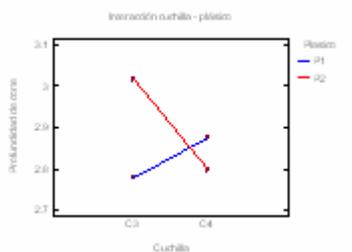


Fig. 5. 25, c)

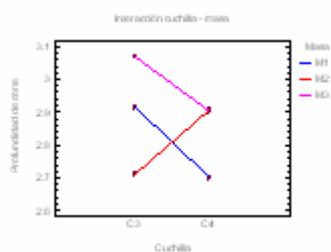


Fig. 5. 25, d)

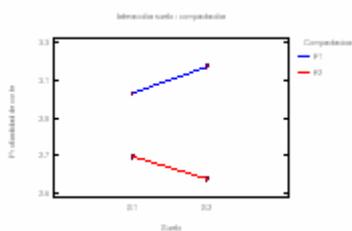


Fig. 5. 25, e)

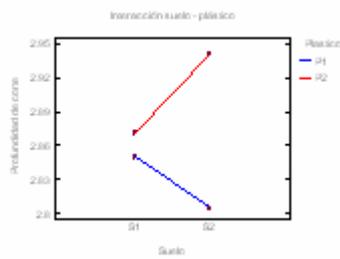


Fig. 5. 25, f)

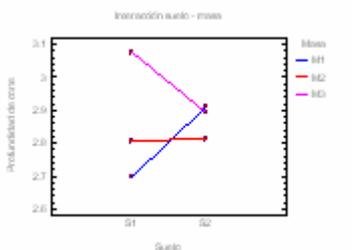


Fig. 5. 25, g)

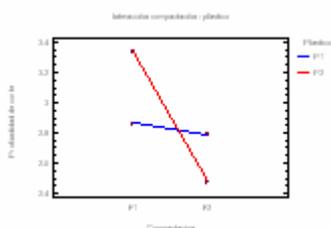


Fig. 5. 25, h)

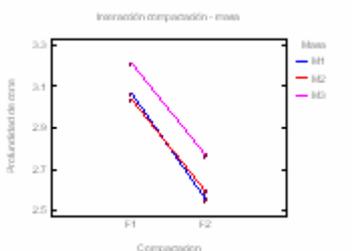


Fig. 5. 25, i)

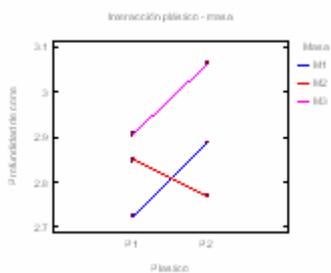


Fig. 5. 25, j)

Fig. 5.25. Gráficas de las interacciones entre las variables estudiadas en términos del punto de ruptura

Si realizamos las diferencias de profundidad de corte entre las tablas 5.10 y 5.18, correspondientes a corte de plástico sobre suelo en texturómetro y corte de plástico en caída libre, respectivamente, podemos construir la tabla 5.23, en ella podemos observar que la profundidad de corte si se ve afectada (reducida) por la inercia de la cuchilla al momento del corte (razón caída libre / texturómetro).

Tabla 5.23 Profundidad de corte (mm) para los ensayos de caída libre y texturómetro

FACTOR		Texturómetro	Caída libre	Razón Caída libre / texturómetro	FACTOR		Texturómetro	Caída libre	Razón Caída libre / texturómetro
Cuchilla	C3	37	30	0,8	Compactación	F1	45	35	0,8
	C4	40	31	0,8		F2	39	26	0,7
Humedad	H1	39	29	0,7	Plástico	P1	40	29	0,7
	H2	45	35	0,8		P2	44	31	0,7
Suelo	S1	48	31	0,6					
	S2	36	30	0,8					

Resumiendo los resultados del análisis de corte de plástico sobre suelo con cuchilla en caída libre, las variables en términos de energía muestran diferencias alcanzando valores hasta de 6J (Tabla 5.18) entre las humedades. Las interacciones de P2, C3, S1, y M3 resultarán en mayores requerimientos energéticos. H2 y F1 muestran mayores profundidades de corte (35 mm), más aún cuando se combinan con P2, C4, S1, M2. En lo que respecta a profundidad de corte el mayor valor de profundidad se encuentra en la humedad 2 y compactación 1, esto se explica si consideramos que el suelo húmedo es más compresible y el suelo no compactado permite mayor profundidad de penetración. Cuando se combinan

C4,H2,S1,F1 y P2 se podrá esperar mayor requerimiento de profundidad de corte. Como último resultado del parámetro de profundidad de corte para los ensayos del texturómetro y caída libre, se puede asegurar que resulta en menor penetración realizar el corte de plástico con cuchilla en estado dinámico (caso caída libre). Se observa que la combinación de menor masa con mayor velocidad (dentro de los intervalos establecidos) es preferible en el aspecto de minimizar la energía utilizada y profundidad de corte.

5.3.6 Análisis de corte de suelo con cuchilla en caída libre

Los resultados de los ensayos realizados se muestran en el apéndice V, al inicio del mismo se presenta un resumen de las combinaciones ensayadas. En la tabla 5.24 se muestra el promedio obtenido para cada variable independiente. En ella se comprueba que las variables siguen la misma tendencia del apartado anterior donde se analizó el corte de plástico sobre suelo con cuchilla en caída libre (véase tabla 5.17), C3 requiere mayor energía que C4, H2 más que H1, S2 ahora muestra menor requerimiento de energía sin embargo recuérdese que se demostró estadísticamente en los ensayos de corte de plástico en caída libre que S2 precisa de menor energía. La compactación aunque no mostró diferencias en dichos ensayos ahora F2 muestra mayor requerimiento de energía. Para la variable masa su tendencia se mantiene, es decir, a mayor cantidad de masa más requerimiento de energía.

Tabla 5.24 Energía promedio de las variables analizadas para corte de suelo con cuchilla en caída libre

FACTOR		Energía (J)	FACTOR		Energía (J)
Cuchilla	C3	5,4	Compactación	F1	4,0
	C4	3,9		F2	5,4
Humedad	H1	4,1	Masa	M1	3,7
	H2	6,2		M2	4,4
				M3	5,5
Suelo	S1	5,0			
	S2	4,4			

Se sometieron los ensayos a los análisis estadísticos realizados en anteriores apartados obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 5.25 (Recuerde que los ensayos con H2 no se pudieron realizar completamente). Todas las variables estudiadas muestran diferencias significativas por encima del 99% a excepción de la repetición que no muestra diferencias significativas al 99%, la explicación de este resultado tiene que ver en la metodología de los ensayos realizados ya que en las 5 repeticiones de cada combinación se buscó obtener una misma altura, por tanto, las repeticiones no muestran diferencias significativas pero si las combinaciones de las variables pues no es la misma altura encontrada. Muy similares resultados se encontraron al evaluar la energía requerida para P2 por lo que no serán presentados.

Como es de esperarse las variables no muestran grupos homogéneos a excepción de M1 y M3, excluyendo a M2 con mayor requerimiento de energía (Tabla 5.26 incisos a – d).

Capítulo 5. Estudio del corte de la película de plástico sobre suelo acolchado

Analysis of Variance for Energia P1 - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Cuchilla	115.248	1	115.248	233.15	0.0000
B:Suelo	59.0803	1	59.0803	119.52	0.0000
C:Compactacion	22.4467	1	22.4467	45.41	0.0000
D:Masa	14.406	2	7.203	14.57	0.0000
E:Repeticion	0.0	4	0.0	0.00	1.0000
INTERACTIONS					
AB	59.0803	1	59.0803	119.52	0.0000
AC	22.4468	1	22.4468	45.41	0.0000
AD	33.614	2	16.807	34.00	0.0000
BC	1.80075	1	1.80075	3.64	0.0591
BD	10.2352	2	5.11758	10.35	0.0001
CD	8.9765	2	4.48825	9.08	0.0002
RESIDUAL	49.9244	101	0.494301		
TOTAL (CORRECTED)	397.259	119			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Tabla 5.25 Análisis de varianza para las combinaciones de corte de suelo en caída libre, en términos energía.

Multiple Range Tests for Energia P1 by Cuchilla

Method: 95.0 percent LSD			
Cuchilla	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
C4	60	2.94	X
C3	60	4.9	X
Contrast	Difference		+/- Limits
C3 - C4	*1.96		0.254635

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.26, a)

Multiple Range Tests for Energia P1 by Suelo

Method: 95.0 percent LSD			
Suelo	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
S2	60	3.21833	X
S1	60	4.62167	X
Contrast	Difference		+/- Limits
S1 - S2	*1.40333		0.254635

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.26, b)

Multiple Range Tests for Energia P1 by Compactacion

Method: 95.0 percent LSD			
Compactacion	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
F1	60	3.4875	X
F2	60	4.3525	X
Contrast			Difference +/- Limits
F1 - F2			*-0.865 0.254635

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.26, c)

Multiple Range Tests for Energia P1 by Masa

Method: 95.0 percent LSD			
Masa	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
M1	40	3.675	X
M3	40	3.675	X
M2	40	4.41	X
Contrast			Difference +/- Limits
M1 - M2			*-0.735 0.311863
M1 - M3			0.0 0.311863
M2 - M3			*0.735 0.311863

* denotes a statistically significant difference.

Tabla 5.26, d)

Tabla 5.26. Análisis de rango múltiple de las variables; a) cuchilla, b) suelo, c) compactación y d) masa, en términos de energía, para corte de suelo en caída libre.

La figura 5.26 muestra de forma gráfica las interacciones de las diferentes variables evaluadas en términos de la energía requerida, véase como la cuchilla 4 registra menor energía comparada con C3 al interactuar con el resto de las variables. El suelo 2 también manifiesta ese comportamiento respecto de S1, M2 nuevamente se manifiesta más alta respecto de M1 y M3, y la compactación 2 se sobrepone a F1. Comparativamente con los ensayos del corte de plástico sobre suelo con cuchilla en caída libre se puede considerar la misma tendencia de comportamiento entre las variables, excepto por compactación 2 que ahora si muestra mayor requerimiento de energía en comparación que F1.

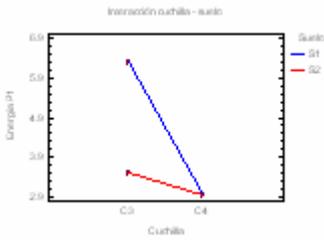


Fig. 5.26, a)

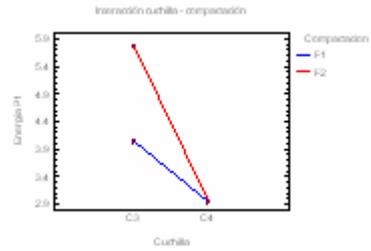


Fig. 5.26, b)

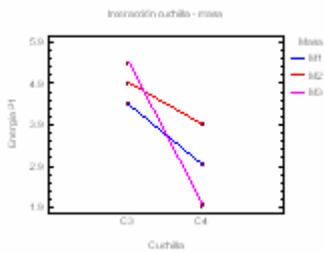


Fig. 5.26, c)

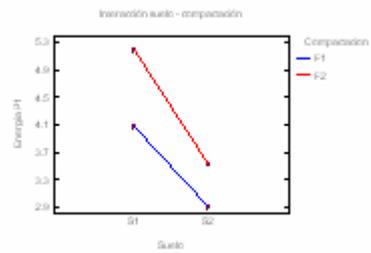


Fig. 5.26, d)

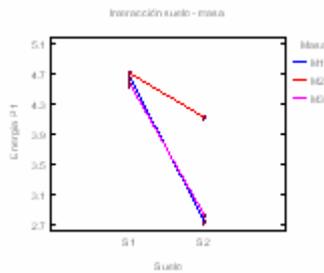


Fig. 5.26, e)

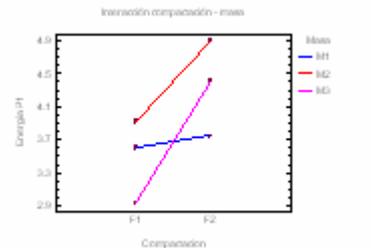


Fig. 5.26, f)

Fig. 5.26 Gráficas de las interacciones entre las variables estudiadas en términos de energía para corte de suelo en caída libre

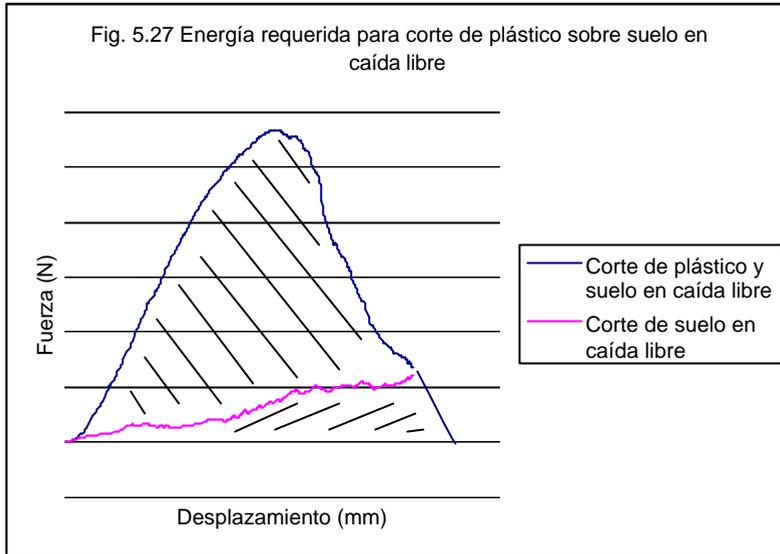
Si restamos las energías necesarias para el corte en los ensayos de caída libre sobre plástico y suelo, y caída libre sobre suelo sin plástico se obtiene la tabla 5.27 que muestra la energía neta invertida en el corte de plástico en los ensayos en caída libre.

Al comparar la tabla 5.16 de las energías netas para el corte de plástico en texturómetro se hace necesario referirse a la unidad de longitud del ancho de cuchilla (energías unitarias). Véase tabla 5.29.

Tabla 5.27. Energía neta utilizada para el corte de plástico en los ensayos de caída libre.

FACTOR	Cuchilla	Energía (J)	FACTOR	Humedad	Energía (J)
Cuchilla	C3	5,6	HUMEDAD	H1	5,0
	C4	6,1		H2	8,9
Masa	M1	5,3	SUELO	S1	5,0
	M2	5,7		S2	6,6
	M3	6,5			
Compactación	F1	6,0			
	F2	4,6			

Apoyándose en el modelo de energía neta unitaria propuesto para el corte en texturómetro se calcularán ahora los parámetros para caída libre. En éste caso se considera el proceso de corte como un impulso triangular de fuerza a lo largo de la trayectoria de penetración, figura 5.27. Se cuenta con la información tanto para calcular el área total bajo la curva (energía para corte de plástico y suelo) y área correspondiente al corte de suelo (energía para corte de suelo), de los ensayos realizados de caída libre.



La relación que permite conocer ambas energías se muestra a continuación:

$$E_{CP} = E_t - E_{CS}$$

Donde:

- E_{CP} = Energía para corte de plástico (J)
- E_t = Energía total obtenida a través de la altura del cortador en caída libre para corte de plástico y suelo (J)
- E_{CS} = Energía obtenida a través de la altura del cortador en caída libre para corte de suelo (J)

Los resultados obtenidos para las combinaciones de cuchillas, suelos y humedades se muestran en la tabla 5.28. Comparando las tablas 5.17 y 5.28 se confirma que en términos generales corte por caída libre requerirá mayor energía neta unitaria de corte de plástico no así cuando se considera energía bruta (plástico y suelo) pues caída libre presenta menor requerimiento por unidad de longitud además que el punto de ruptura del plástico es más bajo. Véase tabla 5.29.

Tabla 5.28 Energía neta unitaria para corte de plástico en caída libre

FACTOR		Profundidad de corte (mm)	Energía neta unitaria para corte de plástico en caída libre					
			Energía Promedio total corte de plástico y suelo(J) ECPS	Energía Promedio total corte de suelo (J)	Energía corte de plástico (J) ECP	Eficiencia E_{CP} / E_{CPS}	Energía unitaria para corte de plástico (J/mm)	Energía unitaria para corte de plástico y suelo (J/mm)
Cuchillas	C3	30	10,9	5,0	5,9	0,54	0,025	0,046
	C4	31	10,2	4,6	5,7	0,55	0,024	0,043
Suelo	S1	31	10,3	4,9	5,4	0,52	0,022	0,043
	S2	30	10,9	4,7	6,2	0,57	0,026	0,045
Humedad	H1	29	9,7	4,4	5,3	0,54	0,022	0,041
	H2	35	11,4	5,2	6,2	0,55	0,026	0,047
Compactación	F1	35	10,4	4,0	6,5	0,62	0,027	0,043
	F2	26	10,2	5,4	4,8	0,47	0,020	0,043
Masa	M1	28	8,5	3,7	4,8	0,56	0,020	0,036
	M2	33	10,0	4,4	5,7	0,57	0,024	0,042
	M3	32	11,7	5,5	6,2	0,53	0,026	0,049

Tabla 5.29. Comparación de energías netas unitarias entre corte de plástico en texturómetro y caída libre

TEXTUROMETRO				CAIDA LIBRE			
FACTOR		Eficiencia E_{CP} / E_{CFS}	Energía unitaria para corte de plástico (J/mm)	FACTOR		Eficiencia E_{CP} / E_{CFS}	Energía unitaria para corte de plástico (J/mm)
CUCHILLAS	C1	0,50	0,043	CUCHILLAS	C1		
	C2	0,48	0,038		C2		
	C3	0,51	0,037		C3	0,54	0,025
	C4	0,41	0,024		C4	0,55	0,024
SUELO	S1	0,37	0,033	SUELO		0,52	0,022
	S2	0,34	0,028			0,57	0,026
HUMEDAD	H1	0,46	0,034	HUMEDAD		0,54	0,022
	H2	0,34	0,021			0,55	0,026
COMPACTACION	F1	0,48	0,031	COMPACTACION		0,62	0,027
	F2	0,36	0,024			0,47	0,020
VELOCIDAD	V1	0,36	0,026	Masa		0,56	0,020
	V2	0,43	0,028			0,57	0,024
						0,53	0,026

5.4 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE CORTE

- La película de polietileno utilizada para acolchado agrícola muestra características muy similares a la de los materiales elástico – plásticos, con zonas elástica y plástica bien definidas.
- Los ensayos de plástico muestran alto valor de plasticidad (elongación mayor de 350%) por lo que no se recomienda realizar corte por efecto de tracción únicamente ya que en general requerirá de mayor energía y desplazamiento al punto de ruptura, lo cual coincide con los resultados de Gutiérrez C. y Serwatowski R. (2006).

- La película de mayor grosor presenta mayor requerimiento de energía pero menor deformación
- Al involucrar diferentes geometrías del filo de la cuchilla se encuentra que las cuchillas dentadas precisan de menor energía, y producen menor deformación. Al aumentar la velocidad de corte (de 1 a 10mm/s) se incrementa la fuerza máxima requerida para la rotura.
- El suelo franco – arcilloso demanda mayor gasto de energía en el corte de plástico al evaluar las interacciones con las otras variables. Pero muestra menor deformación del plástico al punto de rotura lo que puede relacionarse con el efecto de contracuchilla que este último presenta en mayor grado
- El suelo con humedad a PMP (punto de marchitamiento permanente) requiere menor energía y deformación al punto de rotura. El suelo a CC (capacidad de campo) tiende a comprimirse más que a actuar como contracuchilla. Los ensayos con suelo franco – arcilloso a CC dificultan enormemente el corte de plástico.
- Se observa que a mayor compactación menor requerimiento de energía y deformación al punto de rotura al involucrar todas las variables, pues se incrementa el efecto de contracuchilla en el suelo.
- Menor masa en el cortador permite lograr el corte satisfactorio con menor requerimiento de energía y deformación al corte.
- Cuchillas dentadas en estado dinámico requieren de menor energía que partiendo del reposo y efectúan menor profundidad de corte al evaluar las energías netas unitarias invertidas en el corte de plástico.
- La energía bruta requerida en el corte con caída libre resulta menor que en el corte a velocidad constante (texturómetro) para

cuchillas dentadas. La deformación de corte también se ve reducida.

- A la vista de las deformaciones máximas que sufre la lámina de plástico en el corte, el cortador puede limitar su desplazamiento a 50 mm garantizando un corte completo.
- El estudio realizado proporciona los parámetros necesarios para la optimización en el diseño del cortador de tamaño similar conveniente.

5.5 PARÁMETROS DE DISEÑO DEL RESORTE DEL CORTADOR

Dado que los sistemas basados en la aceleración del cortador para alcanzar altas velocidades en el impacto con el plástico, caso de la caída libre o de la impulsión por resortes comprimidos, son más eficientes que los de velocidad constante. Y siendo por otra parte inviable disponer de alturas de caída importantes en la máquina trasplantadora, se decide recurrir a RESORTES como dispositivos de almacenamiento y transferencia de energía al cortador.

La geometría y trayectoria del cortador aconsejan recurrir a resortes helicoidales cuyas dimensiones de espiras, diámetro del alambre y nivel de compresión serán determinadas a partir de los resultados en el presente capítulo.

El resorte del cortador, elemento de almacenamiento de energía para el corte, deberá cumplir ciertos requerimientos energéticos, de espacio y tiempo de ejecución del trabajo.

La longitud del resorte estará en función de la profundidad en el suelo a la que deberá llegar el cortador para efectuar el corte y que

en las conclusiones del presente capítulo resultó sea a lo más de 50 mm.

En la figura 5.28 se muestran las tres posiciones del cortador:

- A. Principio de carrera: máxima compresión del resorte
- B. Posición de inicio del corte
- C. Posición final de carrera: mínima compresión del resorte (= precompresión).

El resorte deberá mantenerse en precompresión en la posición C con una fuerza de 10N que lo mantengan afianzado entre las bases que lo soportan.

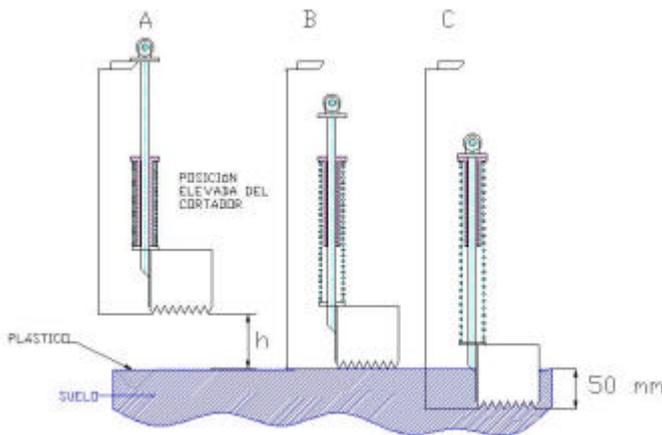


Fig. 5.28 Esquema de las posiciones requeridas por el cortador

En las pruebas de corte en caída libre se determinó que la energía cinética requerida es al menos 10 J, lo que para una masa de 0,7 kg del cortador equivale a una velocidad de 5,5 m/s al inicio del corte. Por tanto para calcular la constante elástica del resorte que nos ayudará a determinar la fuerza necesaria en la posición de compresión máxima tenemos:

Compresión del resorte en la posición final C: $x_0 = \frac{10}{k}$

Compresión del resorte de la posición inicial A:

$$x_f = \frac{10}{k} + 0.05 + h$$

La energía cinética del cortador al tocar el suelo es igual a la suma de los cambios en la energía potencial (gravitatoria y elástica) entre las posiciones A y B por lo que:

$$E_{AB} = mgh + \frac{1}{2}k[(x_f)^2 - (x_0)^2]$$

Donde:

E_{AB} = Energía requerida por el cortador al momento de tocar el suelo (J)

m = masa de cortador (kg)

g = aceleración de la atracción gravitatoria terrestre (m/s^2)

h = Altura entre las posiciones A y B (m)

k = constante elástica del resorte, *incógnita* (N/m)

Proponiendo $h = 70$ mm, tenemos que $k = 1583$ N/m. Con ese valor podemos conocer la energía potencial elástica disponible por el resorte entre las posiciones B y C. Procediendo con la ecuación anterior tenemos que $E_{BC} = 2,85$ J que representa un 26% adicional de la energía al momento de iniciar el corte. También con la constante elástica es posible conocer la fuerza en la posición A de máxima compresión del resorte, con la siguiente relación:

$$F_A = k(x_f)$$

Resolviendo tenemos que la fuerza F_A resulta 200 N.

Siguiendo las recomendaciones y cálculos para determinar las características de construcción de resortes se tiene:

$$k = \frac{(G)(d)^4}{(64)(R)^3 N}$$

Donde:

k = constante elástica del resorte (N/m)

G = Módulo de rigidez (Pa)

d = diámetro de alambre

R = Radio medio de las espiras

N = Número de espiras

La solución óptima para el resorte del cortador del módulo de trasplante resulta;

Concepto (Véase Fig. 5.29)	Dimensiones
Diámetro medio	D = 28,575mm ± 0,20 (1,125´´)
Diámetro interior	D _i = 25,4mm (1´´)
Diámetro del alambre	d = 3,175mm (1/8´´)
Paso	P = 9,146mm (0,36´´)
Longitud libre	L _o = 235mm ±0,50 (9,252´´)
Número de espiras activas	25
Tipo de extremos	Rebajados a escuadra
Material	Alambre musical ASTM A228 (AISI 1085)

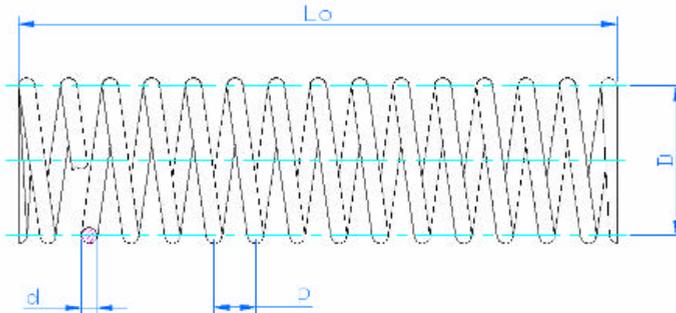


Fig. 5.29 Dibujo esquemático del resorte del cortador

Capítulo 6
Diseño y construcción
del módulo de trasplante

6 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE TRASPLANTE

6.1 ESQUEMA GENERAL DE LA MÁQUINA TRASPLANTADORA

En el presente capítulo se procederá a describir las características principales que deberá tener la trasplantadora, para cumplir los requerimientos que impone el trasplante de plantas a raíz desnuda en el cultivo de la fresa, así como el diseño, construcción y pruebas del módulo de trasplante.

En México el sistema tradicional del cultivo de la fresa y el de reciente adopción de suelos con cobertura plástica es el de surcos separados 1 m entre sí, con dos hileras a tresbolillo y 30 cm entre plantas e hileras. Tal sistema exige un suelo bien disgregado que permita la formación del caballón sin dañar la cobertura plástica y la cintilla de riego, que serán colocados a la par. Para el proceso de trasplante propuesto deberá existir alrededor del terreno un sistema de conexiones hidráulicas, para la activación del sistema de riego por sectores, de preferiblemente uno para cada surco, que posibilite regar de forma inmediata.

El avance de la trasplantadora tirada por el tractor se prevé sea de 15 cm/s (0,6 km/h) que corresponde a la velocidad máxima a la que un operario puede colocar plantas (30 plantas/min) sobre los mecanismos de distribución (Guarella y Perellano, 1990). La viabilidad económica se encuentra, en mayor grado, en el número de plantas que puede trasplantar la máquina por unidad de tiempo, comparado con lo que se puede alcanzar en el trasplante manual.

El principio de funcionamiento de la máquina se basa en un distribuidor de planta, que permanecerá en contacto con el suelo (velocidad relativa nula) un tiempo determinado, gracias al movimiento similar al de las orugas en maquinaria pesada o al de recientes tractores en el mercado. Contará con mecanismos que de manera automática realizarán las operaciones de: seccionado del plástico, colocación de la planta y compresión del suelo vecino alrededor de ella. Por conveniencia, al conjunto que forman los mecanismos antes mencionados se le llamó *MÓDULO DE TRASPLANTE*. La distancia mínima requerida para la realización de dichas operaciones se estimó de 60 cm de avance (4s) del conjunto trasplantadora – tractor, que permiten el lapso estático del módulo, necesario para la realización del trasplante. En las figuras 6.1 y 6.2 se muestran el esquema de la trasplantadora en vías de diseño y la patente de una máquina que aplica similar principio. Los módulos están unidos entre si (articulados) formando una cadena sin fin de eslabones, con 15 cm de paso, guiada en el bastidor del implemento y accionada por el desplazamiento del conjunto mediante una corona dentada engranada a la llanta que soporta la máquina. La velocidad de desplazamiento del conjunto y el módulo de trasplante deben ser de igual magnitud pero de sentido opuesto, para eliminar el movimiento relativo entre módulo y suelo. Además el movimiento relativo entre módulo y bastidor de la máquina se emplea como fuente de accionamiento secuencial de los mecanismos que componen el módulo, al desplazarse éste a través de un sistema de guías fijas unidas al bastidor, que mediante rodamientos ejercen presiones y tensiones sobre los elementos móviles de la unidad de trasplante.

Considerando lo anterior, las medidas y geometría del módulo y las condiciones de alimentación de plantas, el número mínimo de

módulos por hilera resultó ser de 14 unidades. El espacio transversal que ocupa una sección es considerablemente menor que la distancia entre hileras permitiendo la colocación de dos secciones de módulos por surco. El paso de cadena, igual a la mitad de la distancia entre plantas en hilera, permite obtener un desfase de 15 cm entre plantas de las dos hileras en cada surco para formar el tresbolillo.

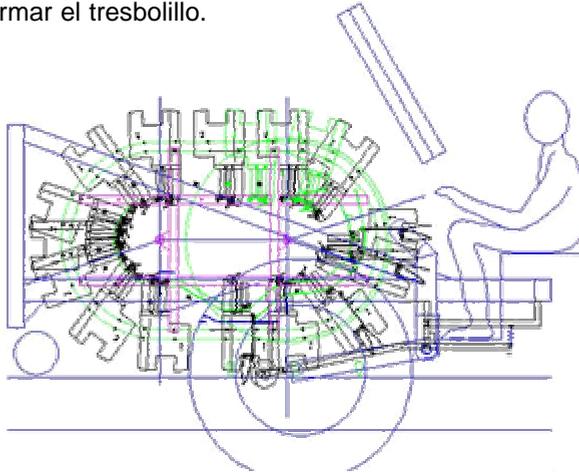


Fig. 6.1 a) Vista lateral de la trasplantadora

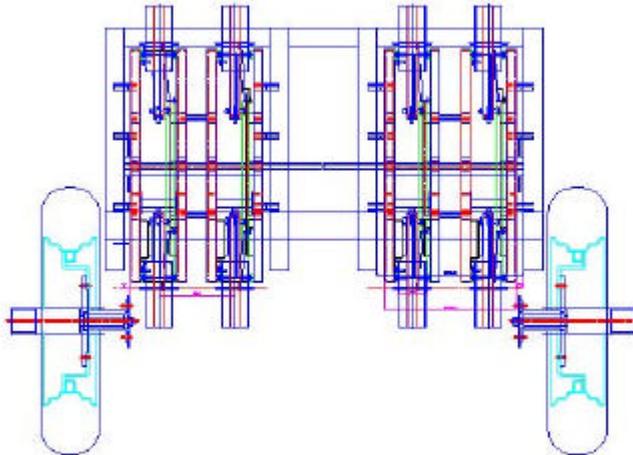


Fig. 6.1 b) Vista trasera

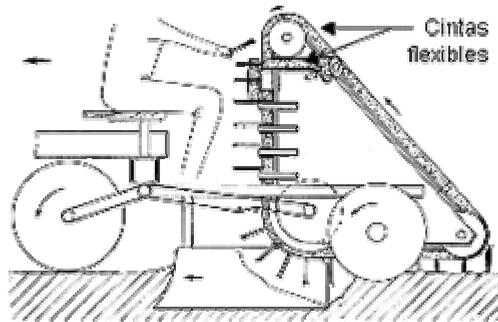


Fig. 6.2 Trasplantadora de cintas flexibles (Pat. EP0457679).

6.2 DISEÑO CONCEPTUAL DEL MÓDULO DE TRASPLANTE

El sistema que soluciona las necesidades de la operación de trasplante está compuesto de tres elementos que en conjunto forman el módulo (Fig. 6.3), las funciones principales que desempeña son:

1. Cortar el plástico
2. Ocultar el plástico seccionado
3. Insertar la planta en el suelo

Los elementos que cumplen con las operaciones antes descritas con;

1. Cortador (Fig. 6.4)
2. Gancho (Fig. 6.5)
3. Pinza (Fig. 6.6)



Fig. 6.3 a) Módulo de trasplante

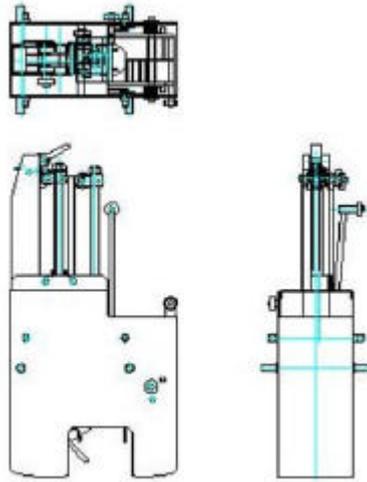


Fig. 6.3 b) Esquema módulo de trasplante

Para el seccionado del plástico con el cortador, si se utiliza el sistema de valvas como en las trasplantadoras de cepellones (corte por desgarre o en forma T sin eliminar el plástico), los bordes generados rozan los tallos de la planta en desarrollo dañándolos. Además no permiten una adecuada ventilación llegandose en días particularmente soleados a temperaturas de hasta 50° C. Por otro lado, el corte del plástico con dispositivos en movimiento no asegura buenos resultados, puesto que deja desgarres sobre el mismo, en el sentido de avance del conjunto. Las condiciones donde el cortador operará serán variables y dependerá entre otras de; perfiles del cortador, forma y dimensiones, cinética y dinámica en fase de corte, tipo de plástico a ser cortado, tipo de suelo donde operará, humedad y compactación del mismo. Todos ellos influirán en su funcionamiento de manera importante por lo que su análisis cuidadoso resulta indispensable para poder realizar un diseño lo más acercado a la realidad de las condiciones de operación del módulo de trasplante.



Fig. 6.4 a) Cortador

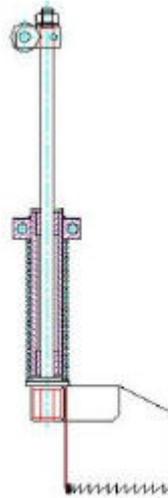


Fig. 6.4 b) Esquema del cortador

La dimensión del cortador está relacionada con el área mínima de suelo que necesita la planta para su adecuado desarrollo, aquí intervienen cuestiones agronómicas que no abordaremos pero se tomará la experiencia de otras máquinas trasplantadoras donde la abertura máxima circular que se realiza sobre el plástico para efectuar el trasplante es de 80 mm de diámetro, tomando esa magnitud para los lados del cortador.

De acuerdo al diseño conceptual del módulo de trasplante se decidió adoptar la forma que se muestra en la figura 6.4 b) que resulta conveniente para interactuar con el gancho y pinza. Además de la forma y dimensión es necesario analizar la parte dinámica con el objeto de determinar la energía necesaria para realizar el corte en las diferentes condiciones a que se verá expuesto el mecanismo, con ello se logrará el correcto diseño del resorte, mecanismo principal de almacenamiento de energía.

En el mismo contexto, existe el requerimiento de energía necesaria para el corte efectivo del plástico la cual se busca sea la mínima posible. En el estudio de cuchillas, de las cuales se seleccionó el borde cortante para construir el cortador, se determinó que se requieren más de 10,5 J para el corte efectivo del plástico. También se ha evaluado si tal energía es correcta como referencia para el diseño.

Para el caso del gancho se verificaron un par de ideas. La primera consistió en un elemento que intentaba introducir el plástico cortado al interior del suelo. La idea no resultó favorable, ya que el plástico lejos de ser introducido al interior del suelo, dejando la parte de suelo necesaria al descubierto, se cortaba por desgarre. En el segundo caso se examinó un elemento en forma de varilla que no enterrara el plástico al suelo, más bien lo recogiera y escondiera al doblarse debajo de la misma cama de plástico. La idea fue positiva solo que una sola varilla ocasionaba que las esquinas de la sección cortada quedaban parcialmente sobre el suelo que se pretendía quedara al descubierto, por lo que fueron usadas dos varillas que de forma simultánea recogen y esconden la sección cortada, verificándose su eficacia. La forma final del gancho es un marco basculante que termina con dedos redondeados en su extremo inferior (Fig. 6.5 b).



Fig. 6.5 a) Gancho

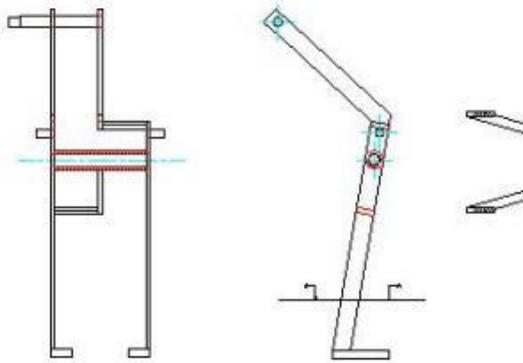


Fig. 6.5 b) Esquema del gancho

Los mecanismos de distribución de plantas que utilizan la fuerza de caída libre para colocar plantas en cepellón a través del plástico están descartados. Por lo que el módulo requerirá de un control directo del movimiento de la planta, desde su deposición hasta su entrega, utilizándose un sistema de pinzas prensoras. La manera de depositar la planta deberá impedir que las puntas de las raíces queden dobladas, dirigidas hacia la superficie del terreno, ya que el crecimiento de la planta es sensible a esta situación. En el mismo contexto se debe evitar el daño mecánico en la planta, y especialmente en la corona, por la operación de mecanismos de la máquina. El trasplante a raíz desnuda exige que la planta colocada

en el suelo deba ser rodeada por suelo que abrace a las raíces para garantizar el adecuado desarrollo de la planta, por lo que las tenazas que componen la pinza deberán permitir el flujo de suelo hacia el interior de la misma, evitando en todo momento la formación de cavidades alrededor de las raíces. Esto se solucionó dejando abiertas las partes laterales de las tenazas (Fig. 6.6).



Fig. 6.6 a) Pinza

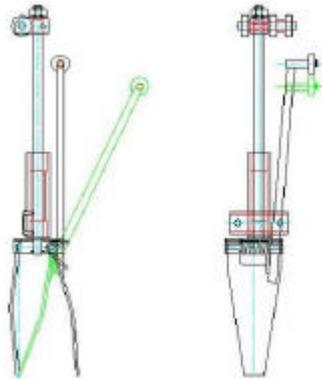


Fig. 6.6 b) Esquema de la pinza

6.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO

En todo momento durante el diseño se pensó acerca del accionamiento de los tres elementos descritos con anterioridad. La primera limitante en orden de prioridad es la forma en que cada elemento obtendrá la dinámica de operación.

Durante la fase de trasplante el módulo deberá tener velocidad cero relativa al suelo. En el lapso en que los módulos permanecen estáticos el trasplante tendrá efecto, por lo que será el momento de que el cortador, gancho y pinza, reciban el accionamiento necesario para cumplir su función. Posteriormente los módulos serán puestos en movimiento por la misma cadena llevándolos a recibir la nueva planta a ser colocada, repitiéndose el ciclo (Fig. 6.7).

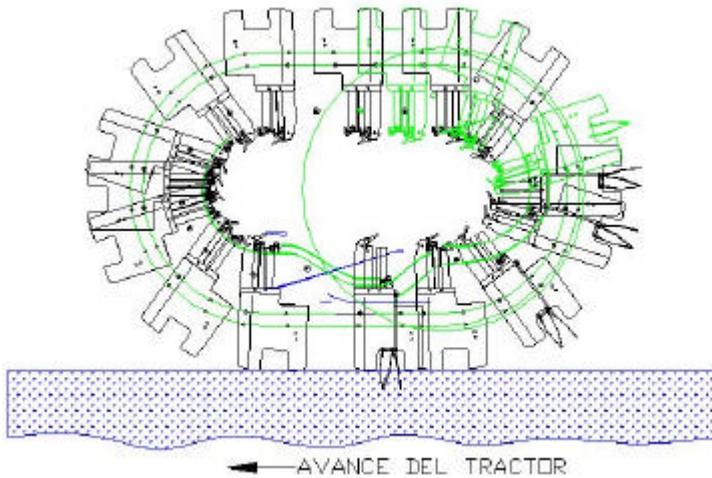


Fig. 6.7 Cadena de módulos

La opción de menor costo y de mayor difusión en implementos agrícolas son las guías fijas que al paso de los dispositivos obligan a los actuadores a cumplir su función. Como parte del cortador se propone el diseño de un resorte que se comprima a través de un eje vertical y por medio de un elemento (Gatillo) se sujete y libere de manera intermitente. El resorte almacenará energía por medio de una guía donde correrá un rodamiento unido al sistema del cortador obligando a la compresión. Al liberarse el gatillo, el cortador realizará el corte, a continuación la guía retraerá al cortador y nuevamente el gatillo asegurará el sistema quedando listo para el siguiente ciclo. Las características que deberá tener el resorte fueron discutidas en el capítulo anterior.

Por otro lado y en la misma secuencia de operación, un rodamiento unido a la estructura del gancho hace contacto con una guía obligándolo a pivotar. En el trayecto las varillas del gancho recogen y esconden, hacia el lado no recortado, el plástico previamente cortado. El inicio del movimiento del gancho ocurre posterior al

corte del plástico y mientras el cortador es retraído, al final un resorte a torsión lo regresa a su posición original.

Para el caso de la pinza el principio de accionamiento es similar, una vez que el gancho ha ocultado el plástico seccionado, comienza el descenso de la pinza a través del marco del gancho por medio de un rodamiento, unido a ella, en contacto con una guía. El enterrado se realiza en los primeros 5 cm del suelo que coincide con la longitud de las raíces de la planta. Previo a la colocación de la planta en la pinza se realiza el corte de las raíces. Justo en el fondo, la pinza se abre gracias a un actuador en contacto con una guía, diferente a la que realiza el enterrado, liberando la planta. A continuación la pinza comienza a retraerse, en posición abierta. La figura 6.8 muestra una vista esquemática general del módulo armado.

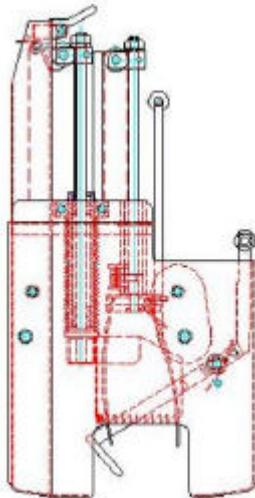


Fig. 6.8 Esquema del módulo de trasplante

6.3 PRUEBAS DE LABORATORIO DEL MÓDULO DE TRASPLANTE

Siguiendo el diseño conceptual de la máquina trasplantadora y el módulo y considerando los requerimientos tanto de: plantas, suelo y los propios del diseño mecánico, además los resultados de los estudios de corte de plástico, se construyó un dispositivo de pruebas para evaluar el desempeño del módulo de trasplante a nivel laboratorio.

El módulo consta en su forma básica de los tres elementos acoplados, descritos anteriormente, que operan automáticamente en una secuencia específica. El mecanismo perforador, que efectúa el corte de plástico a lo largo de tres lados de un cuadrado de 8 x 8 cm. El elemento que oculta el plástico cortado (gancho) permitiendo que el área de suelo bajo la sección cortada sea expuesta a cielo abierto para el desarrollo de la planta. Y por último un mecanismo que introduce la planta al suelo (pinza), asegurando la verticalidad de la misma y el correcto posicionamiento de la corona de la planta.

6.3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de tracción y labranza del departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato. Dentro del laboratorio se cuenta con un *soil bin* (tanque de suelo), que contiene dos diferentes tipos de suelo; suelo franco arcilloso y franco arenoso, donde se pueden realizar pruebas a conveniencia (Fig. 6.9). El porcentaje de humedad medido con un sensor de humedad (Moisture meter HH2, Delta – T Device) fue a punto de marchitamiento permanente (PMP) que en ambos suelos fue

inferior a 10%, específicamente 7% para el suelo 1 y 3,4% para el suelo 2. Además se registró el nivel de compactación del suelo medido con un penetrómetro de cono (Rimik CP 20, manufacturado por Agridry Rimik PTY LTD, con 600 mm de profundidad de análisis en suelo y capacidad de detección de compactación hasta de 5000 kPa) en diferentes puntos a 10 cm de profundidad, debido a que la pinza y el cortador no rebasan esa distancia cuando colocan la planta y cortan el plástico, respectivamente. El valor alcanzó en promedio 1kPa, que es un valor aceptable para el adecuado desarrollo de la planta (De León, 1998).

Las plantas usadas fueron de primer ciclo, variedad festival, adquiridas por el Consejo Nacional de la Fresa A.C. (CONAFRE) y proporcionadas al Instituto de Ciencias Agrícolas frigoconservadas hasta el momento de los ensayos. No se detectaron anomalías en la estructura de la planta, solo algunas presentaron brotes que no representan limitantes para el ensayo.



Fig. 6.9 Tanque de suelo (soil bin)



Fig. 6.10 a) Dispositivo de pruebas

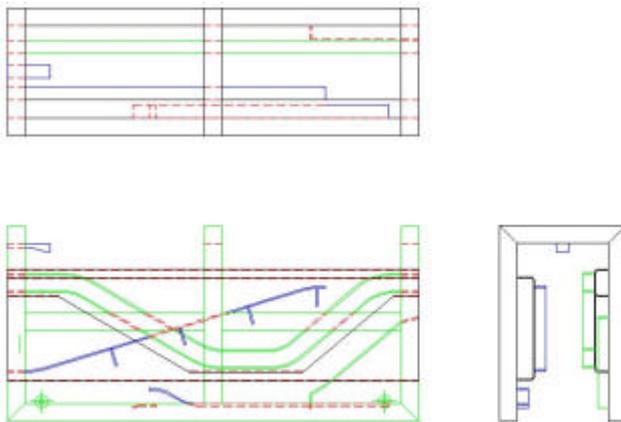


Fig. 6.10 b) Esquema del dispositivo de pruebas

Se cubrió el suelo con plástico y se sujetó de manera apropiada simulando la tensión aparente que se logra en los campos de producción. La planta se colocó de forma manual en la pinza del módulo de trasplante (Fig. 6.6), éste último, se colocó sobre la base del dispositivo de pruebas (Fig. 6.10) que le confiere una posición estática durante la prueba justo sobre la superficie del suelo

cubierta. Posteriormente se colocó el soporte de guías, que forma parte del dispositivo de pruebas, las guías son las encargadas de transferir el movimiento respectivo al módulo de trasplante (Fig. 6.11). El soporte de guías es tirado por un cable de acero unido a un moto reductor “BALDOR” (90V CD, velocidad variable, salida de 21 rev/min, 120W y 80Nm de torque) que por medio de un arreglo en las poleas donde es enrollado, le trasmite una velocidad promedio de 15 cm/s (Fig. 6.12), la cual tiene relación directa con la velocidad máxima de alimentación (Guarella y Perellano, 1990) que puede lograr un operador encargado de suministrar plantas a los mecanismos de trasplante en condiciones reales de trabajo. Las guías corren a través del módulo de trasplante a la velocidad mencionada activando, de forma secuencial, los elementos encargados de realizar el trasplante: cortador – gancho – pinza. Algo similar ocurrirá en la realidad pues durante el trasplante el módulo permanecerá sin movimiento respecto al suelo, serán las guías las encargadas de actuar sobre los mecanismos.



Fig. 6.11 Soporte de guías del dispositivo de pruebas



Fig. 6.12 Sistema de tracción del dispositivo de pruebas

Se realizaron 20 pruebas en cada suelo y se evaluó, de manera cualitativa, la calidad del trasplante en cada una de las pruebas, de la forma que se muestra en la tabla 6.1. La valoración máxima es de 2 puntos por parámetro y el trasplante en total representa 10 puntos cuando la calidad del trasplante es máxima. Se estableció como regla que menos de 8 puntos en la evaluación total se considera el trasplante como *no satisfactorio*, entre 8 y 10 *satisfactorio*. Con la condición de que ninguna de las valoraciones de los parámetros evaluados sea incorrecta, es decir obtenga cero como puntuación.

Poco antes de iniciar las pruebas se cortaron las raíces y tallos de las plantas a 5 cm medidos desde la corona hacia los extremos, respectivamente, con base en los estudios de estrés hídrico y corte de raíz realizados por Gutiérrez C. 2006 y Duval, J. 2002.

Tabla 6.1 Ponderación de las características de desempeño evaluadas en el módulo de trasplante

Cortador		Gancho		Pinza					
Corte de plástico	Valor	Ocultar plástico	Valor	Corona enterrada	Valor	Verticalidad	Valor	Conflicto pinza - planta	Valor
Corte completo: CORRECTO	2	0 – 1cm asomando sobre el agujero: CORRECTO	2	Enterrado Completo: CORRECTO	2	Inclinación menor a 30° respecto de un eje vertical imaginario; CORRECTO	2	La pinza no mueve la planta: CORRECTO	2
Corte parcial: ACEPTABLE	1	1 – 3cm: ACEPTABLE	1	Enterrado Parcial: ACEPTABLE	1	Entre 30 y 45°: ACEPTABLE	1	La mueve parcialmente: ACEPTABLE	1
Sin corte: INCORRECTO	0	>3cm: INCORRECTO	0	Sin enterrar: INCORRECTO	0	Mayor a 45°: INCORRECTO	0	La desentierra: INCORRECTO	0

6.3.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las evaluaciones de las cuarenta pruebas realizadas se resumen en las tablas 6.2 y 6.3, para los suelos 1 y 2 respectivamente. En las figuras 6.13 y 6.14 se muestran gráficas acerca de los parámetros evaluados para ambos suelos ensayados. De las 40 pruebas realizadas 38 obtienen la calificación de satisfactorio ya que su resultado se encuentra entre 8 y 10 y no obtienen cero como puntuación en ninguno de los parámetros evaluados. 21 de los ensayos se pueden considerar como trasplantes correctos ya que obtuvieron la puntuación máxima de 10 (Fig. 6.15). Solo dos de las pruebas ensayadas se puede considerar como no satisfactorias, una de ellas se debió a un conflicto con la pinza ya que al retraerse desenterró la planta ya colocada por lo que los parámetros de posición de la corona y verticalidad se vieron afectados, la otra, debido a que no fue correcta la forma de ocultar el plástico.

El 100% de los cortes de plástico resultaron correctos por lo que se puede decir que el cortador y sus elementos funcionan de forma satisfactoria, véase figuras 6.13 y 6.14. La actividad de ocultar el plástico resultó con un 65% de pruebas correctas, el 30% resultó con una porción de plástico que asomaba sobre el suelo más de 1

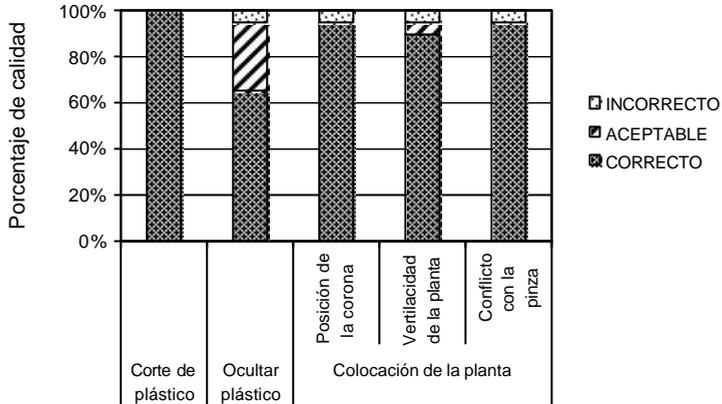
cm, evaluadas como aceptables (Fig. 6.16), la suma de ambos arrojan el 95% de los ensayos satisfactorios.

La posición de la corona, que es una de las condiciones del trasplante para el adecuado desarrollo de la planta, no representa problemas pues el 95% de las pruebas fueron correctas, pudiéndose observar que la corona queda enterrada. Por lo que el ensayo se considera satisfactorio en cuanto al posicionamiento de la corona.

El 85 % de las pruebas muestran que los trasplantes efectuados cumplen de forma correcta con el parámetro de verticalidad, factor importante a considerar para la adecuada emergencia de la planta (Fig. 6.17). El otro 15% recae en evaluación aceptable por lo que se puede considerar que la verticalidad de la planta es satisfactoria.

Tabla 6.2 Pruebas realizadas en el suelo franco arcilloso

Planta	Cortar de plástico	Ocultar plástico	Colocación de la planta			Evaluación
			Posición de la corona	Verticalidad de la planta	Conflicto con la pinza	
1	2	1	2	2	2	9
2	2	2	2	2	2	10
3	2	0	2	2	2	8
4	2	2	2	2	2	10
5	2	2	2	2	2	10
6	2	1	2	2	2	9
7	2	2	2	2	2	10
8	2	1	2	2	2	9
9	2	2	2	2	2	10
10	2	2	2	2	2	10
11	2	2	2	2	2	10
12	2	2	2	2	2	10
13	2	1	2	2	2	9
14	2	2	2	1	2	9
15	2	1	2	2	2	9
16	2	2	0	0	0	4
17	2	1	2	2	2	9
18	2	2	2	2	2	10
19	2	2	2	2	2	10
20	2	2	2	2	2	10
Trasplante no satisfactorio			2			
Trasplante satisfactorio			18			



Parámetros

Fig. 6.13 Calidad de trasplante mostrado por el módulo (Suelo franco - arcilloso)

Tabla 6.3 Pruebas realizadas en el suelo franco arenoso

Número de planta	Cortar plástico	Ocultar plástico	Colocación de la planta			Evaluación
			Posición de la corona	Ventilación de la planta	Conflicto con la pinza	
1	2	1	2	2	2	9
2	2	2	2	2	2	10
3	2	2	2	2	2	10
4	2	2	2	1	2	9
5	2	2	2	1	2	9
6	2	2	2	2	2	10
7	2	2	2	2	2	10
8	2	1	2	2	2	9
9	2	1	2	2	2	9
10	2	1	2	2	2	9
11	2	1	2	2	2	9
12	2	1	2	2	2	9
13	2	2	2	2	2	10
14	2	2	2	2	2	10
15	2	2	2	2	2	10
16	2	2	2	2	2	10
17	2	2	2	2	2	10
18	2	1	2	2	2	9
19	2	2	2	2	2	10
20	2	2	2	1	2	9
Trasplante no satisfactorio						0
Trasplante satisfactorio						20

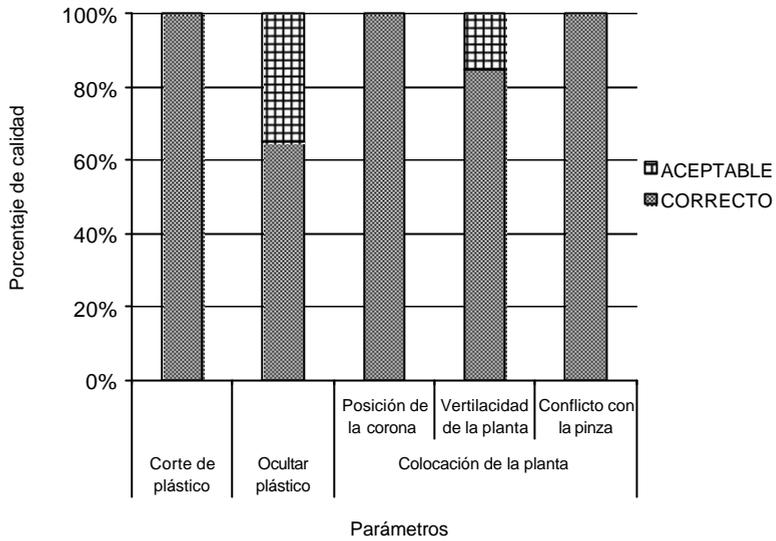


Fig. 6.14 Calidad de trasplante mostrado por el módulo (Suelo franco - arenoso)



Fig. 6.15 Trasplante correcto



Fig. 6.16 Trasplante aceptable al ocultar el plástico



Fig. 6.17 Trasplante con problemas de verticalidad de la planta

Durante las pruebas se pudo observar que la preparación del suelo (granulometría), la nivelación del mismo que asegure el contacto con el módulo de trasplante, la colocación y extendido correcto de la cubierta plástica, juegan un papel importante para el funcionamiento deseado de todos los mecanismos del dispositivo.

6.3.3 CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO DEL MÓDULO DE TRASPLANTE

- El 95% de las pruebas son satisfactorias al evaluar todos los parámetros, de ese valor más de la mitad registran todos sus parámetros evaluados como correctos.

- Se concluye que el trasplante mecanizado realizado con el módulo de trasplante presenta un comportamiento satisfactorio en términos generales, comprobando la viabilidad técnica del concepto propuesto, aunque se está conciente de que durante el trabajo real en el campo interaccionan más factores que pueden afectar el desempeño de la máquina.
- La preparación del suelo y de la cobertura plástica afectan en grado importante la calidad del desempeño del dispositivo evaluado.

Capítulo 7

Conclusiones

7 CONCLUSIONES

1. Es factible el trasplante mecanizado de plántulas sin cepellón sobre suelo acolchado en el cultivo de la fresa.
2. Se precisa la condición de suelo seco, aplicando el riego de goteo posterior. Para evitar un efecto considerable de estrés hídrico en la supervivencia de la planta es recomendable un riego inmediato, o dilatado no más de 6 h después del trasplante.
3. Para facilitar el manejo de plántulas es preferible que tengan forma y tamaño homogéneos. Se comprobó que es viable realizar el corte de raíz a 5 cm medidos desde la corona hacia el extremo.
4. Las películas de polietileno utilizadas en la agricultura muestran características elástoplásticas bien definidas. Tienen un alto porcentaje de deformación plástica, superior a 350 %. Las pruebas de corte de la película con cuchillas dentadas de hoja de acero indican que con el aumento de espesor del plástico aumenta el requerimiento de energía, a la vez que disminuye el desplazamiento del filo hasta el punto de rotura
5. Para cortar el plástico sobre el suelo con cuchillas de hoja con movimiento normal a la superficie del plástico, es preferible la penetración con velocidad alta ya que precisa de menos energía, y se reduce el desplazamiento hasta la rotura, que el corte con desplazamiento lento.
6. El corte con cuchilla de filo dentado, muestra la ventaja respecto al filo liso. Las cuchillas dentadas requieren menos energía y profundidad de corte.
7. El suelo franco arcilloso demanda mayor requerimiento de energía, pero necesita de menor desplazamiento al punto de rotura pues presenta mayor efecto de contracuchilla que el suelo franco arenoso.
8. La humedad a PMP (punto de marchitamiento permanente) requiere menor energía y desplazamiento al punto de rotura, ya que el suelo a CC (capacidad de campo) se deforma con más facilidad y pierde en parte el efecto de contracuchilla.

9. Se observa que a mayor compactación menor requerimiento de energía para el corte del plástico y menor desplazamiento hasta el punto de rotura.
10. La totalidad de las pruebas realizadas con el módulo de trasplante, diseñado y construido en esta tesis, resultaron satisfactorias de acuerdo a los criterios establecidos.
11. La preparación del suelo y la correcta colocación de la cobertura plástica serán fundamentales para lograr un trabajo eficaz y de calidad del mecanismo propuesto.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. Chancellor W.J. 1957. Basic concepts of cutting hay. PhD. Thesis, Cornell University, Ithaca .N.Y.
2. De León F. 1998. Localización de capas compactadas en el perfil del suelo mediante penetrometría. Terra. Vol 16. No. 4.
3. Duval, J. R., Golden, E. (2002). Severe root pruning of strawberry bare root transplants is yield neutral. Hortscience, 37 (7): 1132.
4. Franco, F. et al, (1999). Trasplante de remolacha mediante paper-pot. Agricultura, 1(800): 253-257.
5. Gracia, C. (1991). Maquinaria de siembra y plantación para cultivos hortícolas. Maquinas y Tractores, 10: 50-57.
6. Guarella, P. (1992). La semina ed il trapianto. Terra e Vita, 10: 105 - 106.
7. Guarella, P. Perellano, A (1990). La mecanización del trasplante en horticultura. Hortofruticultura, 1 (1): 38-63.
8. Guarella, P. Perellano, A. (1986). Mecanización del Trasplante en Italia. Estado Actual y Perspectivas Futuras en: Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Zaragoza, España.
9. Gutiérrez V. C. Serwatowski H. R. Evaluación de corte de raíz y estrés hídrico en plantas de fresa. Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Guanajuato Gto. 6 al 8 de Noviembre de 2006.
10. James F. Shackelford. Ciencia de materiales para ingenieros. 3ª Edición. Prentice Hall. Hispanoamericano S.A., 1995 México.
11. Kanafojski. Cz. Karwowski. T. Agricultural Machines Theory and Construction. Vol. 2. Crop Harvesting Machines. 1976. (2.1 Principles of the theory of cutting)
12. Lamont W. 2001. Vegetable Production Using Plasticulture. Department of Agriculture. The Pennsylvania State University. USA.
13. Ledesma E., Aguilera E. 2005. Diseño y construcción de una máquina cortadora de maleza para su uso en regaderas. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica. Universidad de Guanajuato. México. (Capítulo 2. Introducción al proceso de corte)
14. López, J. (2003). Evaluación agronómica del cultivo sin suelo del tipo recirculante, del fresón en Huelva. II Curso Internacional del cultivo de la fresa, Memorias. Huelva, España.
15. López-Aranda J.M. (2003-1). Multiplicación industrial in vitro. II Curso Internacional del cultivo de la fresa, Memorias. Huelva,

- España.
16. López-Aranda J.M. (2003-2). Situación actual y perspectiva del cultivo de la fresa a escala internacional. II Curso Internacional del cultivo de la fresa, Memorias. Huelva, España.
 17. Márquez, L (1992). Mecanización del trasplante. Hortofruticultura, 9: 47-50.
 18. Medina, J. J. (2003-1). Preparación del suelo, desinfección, técnicas, modalidades, densidades y fechas de plantación. II Curso Internacional del cultivo de la fresa, Memorias. Huelva, España.
 19. Medina, J. J. (2003-2). Técnicas de forzado: acolchado, tunelillos y macro-túneles. II Curso Internacional del cultivo de la fresa, Memorias. Huelva, España.
 20. Mitchel J. 2004. Mulches in California vegetable crop production. ANR publication 8129. University of California, Davis.
 21. NMX-E-082-SCFI-2002. Norma mexicana. Industria del plástico - resistencia a la tensión de materiales plásticos - método de ensayo.
 22. NMX-E-099-1990. Norma mexicana. Industria del plástico - resistencia al impacto por caída libre de dardo en películas plásticas y laminados - método de prueba.
 23. O'Dell, C. (1998). New options for field and greenhouses strawberries. Virginia Cooperative Extensión, commercial horticulture newsletter. March-April.
 24. Persson, S. 1987. Mechanics of cutting plant material. St Joseph. MI: ASAE
 25. Sanz, A. (2002). España, segundo productor de fresa en el mundo. Vida Rural, 9 (144): 33- 34.
 26. Tosi, E. (1995). Guida illustrata alla coltivazione dalla fragola. Suplemento en Vita in campagna, 6: 4-34

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

27. Boa, W. (1984). The design and performance of an automatic transplanter for field vegetables. Journal of Agricultural Engineering Research, 30: 124-130.
28. Chen, B., Tojo, S., Watanabe, K.(2003). Machine vision based guidance system for automatic rice transplanters. Transactions of the ASAE, 19 (1): 91-97
29. Ciesielska-Malusà, J. (1993). Fragola, lampone e ribes in Polonia per l'industria alimentare europea. Frutticoltura, 11: 65-71.
30. Faedi, W. (2003). The strawberry in Italy. II Curso Internacional del cultivo de la fresa, Memorias. Huelva, España.
31. Faedi, W., Mourgues, F., Rosati, C. (2002). Strawberry

- breeding and varieties: situation and perspectives. *Acta Horticulturae*. 1 (567): 51-59.
32. Gracia, C., Velázquez, B. Diseño de piezas en maquinaria agrícola. Editorial de la UPV Valencia. 2003.
 33. Huang, B.K., Ai, F. (1992). Air-Pruned Transplant Production System For Fully Automated Transplanting. *Acta Horticulturae*, 2 (319): 523-528.
 34. Legard, D. (2003). Strawberry production in the USA. II Curso Internacional del cultivo de la fresa, Memorias. Huelva, España.
 35. Mizuochi, Y., Dohi, M. (2003). Machine vision for transplanter of vegetables. ASAE Paper Number 033103.
 36. Nagasaka, Y., Umeda, N., Kanetai, Y. (2002). Automated Rice Transplanter with GPS and FOG. ASAE Publication Number 701P0502.
 37. Rosati, P., Cantoni, L. (1993). Fragola: tecnologia e ricerche avanzate nel mondo. *Frutticoltura*, 11: 9-19.
 38. Varred, E. (2002). Development of a mechanism for transplanting rice seedlings. Mechanism and machine theory, 37: 395-410

PATENTES CITADAS

1. Aguas, J. J. Patente ES 2 114 367. Máquina para plantar hortalizas o productos similares. 1988. Solicitud de patente.
2. Alan, G. Patente EP 0 653 907. Apparatus for automatically planting seedlings taken from a hard seedling tray. 1997. Willames Hi Tech Pty Ltd. Foreign application priority data.
3. Alan, G. Patente US 6 539 883. Handling and planting plants. 2003. Willames Hi-Tech International Pty Ltd. Foreign application priority data.
4. Alan, G. Solicitud de patente WO 9 828 965. Field Transplanter. 1998. Willames Hi-Tech International Pty Ltd. International application published under the patent cooperation treaty.
5. Besson, A. Patente EP 0 457 679. Machine à planter ou à repiquer. 1991. S.A.R.L. ets. Gregoire Besson et cie. Demande de brevet européen.
6. Etsuo, K., Suzakasashi, T. Patente EP 0 457 906. Setting machine. 1991. Hojin, S. Kaihatsu, N. C. European patent application.
7. Ferrari Costruzione meccaniche di Ferrari L & C. S.n.c. Patente EP 0 596 841. A row distributor for the transplanting of small plants born in cubical sods of compressed peat or synthetically substratum of the dutch kind. 1993. European patent application.

8. Lijon, F. G., Bernal, F. Patente EP 1 077 023. Automatic vegetable plant transplanter. (2001). Semirec. S. L. Solicitud de modelo de utilidad.
9. Lluch, A. Patente ES 2 100 110. Apero plantador continuo de hortalizas en caballones acoplable a motocultores de dos ruedas. 1997. Lulch, A. Solicitud de patente.
10. Masuda, A., Nambu, T. Patente US 4 132 337. Continuous paper cylinder assembly and method of separating the same and transplanting apparatus for the same. 1979. Foreign application priority data.
11. Nambu, T. Patente US 4 597 343. Continuous paper tube potted seedlings separation transplanting planting machine. 1986.
12. Nambu, T., Terasawa, H., Kawamoto, Y. Patente US 5 996 513. Machine for transplanting seedlings. 1999. Foreign application priority data.
13. Pinson, D. Patente EP 1 222 846. Machine de Plantation de plants en mottes, à cadence élevée. 2002. Regero. Demande de brevet Europe.
14. Pizzirini, A. Patente US 6 394 010. Carousel type distribution unit for handling and planting vegetable species. 2002. Checchi & Magli S.R.L.
15. Pogu, C., Guichon, G., Pinson, D. Patente EP 0 612 466. Module pour planteuse de mini mottes cultivées dans des plateaux alvéoles. 1994. Regero, Société Anonyme. Demande de brevet Europe.
16. Pretzer, P. Patente US 4 455 950. Transplanting apparatus utilizing a disc mechanism for transferring plants from a supply tape to the furrow. 1984. General Mills, Inc. Foreign patent documents.
17. Scudellaro, L. Patente US 4 886 002. Transplanting machine. 2002. Foreign application priority data.

Apéndice I

APÉNDICE I. ENSAYOS DE CORTE DE PLÁSTICO CON CUCHILLA

En la tabla 1 se muestran los resultados de los ensayos de corte de plástico con cuchilla a diferentes velocidades de corte y sus repeticiones para las diferentes combinaciones de:

Plástico 1 (P1), 0.030mm de grosor.

Plástico 2 (P2), 0.023mm de grosor.

Cuchillas

- C1 Borde cortante recto
- C2 Borde cortante cuchilla "V"
- C3 Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero
- C4 Borde cortante con dientes en forma de triángulo isósceles

Velocidad 1 (V1) 1mm/s

Velocidad 2 (V2) 10mm/s

Repetición del ensayo (R1, R2, R3, R4 y R5)

Tabla 1. Corte de plástico con cuchilla en texturómetro

Plástico	Cuchilla	Velocidad	Repetición	Fuerza Máxima (N)	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)	Plástico	Cuchilla	Velocidad	Repetición	Fuerza Máxima (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente	Energía (J)	Plástico	Cuchilla	Velocidad	Repetición	Fuerza Máxima (N)	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)	Plástico	Cuchilla	Velocidad	Repetición	Fuerza Máxima (N)	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)
P1	C1	V1	R1	76.1	59.9	3.9	P1	C2	V1	R1	63.5	58.5	3817	2.7	P2	C1	V1	R1				P2	C2	V1	R1			
P1	C1	V1	R2	69.4	57.7	3.6	P1	C2	V1	R2	69.9	63.1	4620	3.2	P2	C1	V1	R2				P2	C2	V1	R2			
P1	C1	V1	R3	66.8	45.4	2.7	P1	C2	V1	R3	73.4	48.5	5102	2.5	P2	C1	V1	R3				P2	C2	V1	R3			
P1	C1	V1	R4	68.2	49.3	3.1	P1	C2	V1	R4	75.0	58.5	4290	3.1	P2	C1	V1	R4				P2	C2	V1	R4			
P1	C1	V1	R5	68.9	54.7	3.5	P1	C2	V1	R5	80.0	63.0	4704	3.6	P2	C1	V1	R5				P2	C2	V1	R5			
P1	C1	V2	R1	101.8	58.5	4.8	P1	C2	V2	R1	81.8	48.6	5081	2.8	P2	C1	V2	R1				P2	C2	V2	R1	59.2	117.9	5.2
P1	C1	V2	R2	81.1	56.8	3.6	P1	C2	V2	R2	78.6	41.5	5692	2.3	P2	C1	V2	R2				P2	C2	V2	R2	62.6	107.9	5.7
P1	C1	V2	R3	106.3	86.9	7.1	P1	C2	V2	R3	84.3	46.3	5029	2.7	P2	C1	V2	R3				P2	C2	V2	R3	61.3	115.9	5.3
P1	C1	V2	R4	100.0	65.8	4.8	P1	C2	V2	R4	88.3	49.5	5554	3.1	P2	C1	V2	R4				P2	C2	V2	R4			
P1	C1	V2	R5	99.5	59.6	4.7	P1	C2	V2	R5	84.9	51.3	4941	3.0	P2	C1	V2	R5				P2	C2	V2	R5			
P1	C3	V1	R1	40.6	19.5	0.5	P1	C4	V1	R1	43.2	17.9	4209	0.6	P2	C3	V1	R1	30.9	27.4	0.8	P2	C4	V1	R1	31.5	24.9	0.7
P1	C3	V1	R2	41.6	18.6	0.7	P1	C4	V1	R2	45.0	20.7	4247	0.6	P2	C3	V1	R2	27.4	22.6	0.6	P2	C4	V1	R2	35.5	26.1	0.8
P1	C3	V1	R3	41.1	20.9	0.7	P1	C4	V1	R3	40.2	18.6	4016	0.5	P2	C3	V1	R3	26.1	28.4	0.6	P2	C4	V1	R3	31.5	28.3	0.8
P1	C3	V1	R4	34.2	19.5	0.6	P1	C4	V1	R4	41.6	20.4	3737	0.7	P2	C3	V1	R4	26.9	27.8	0.6	P2	C4	V1	R4	30.3	29.3	0.8
P1	C3	V1	R5	44.6	16.6	0.8	P1	C4	V1	R5	45.3	20.8	4364	0.7	P2	C3	V1	R5	27.3	25.0	0.6	P2	C4	V1	R5	35.6	27.0	0.7
P1	C3	V2	R1	45.9	15.9	0.9	P1	C4	V2	R1	43.5	18.6	4304	0.6	P2	C3	V2	R1	32.6	31.4	0.9	P2	C4	V2	R1	39.2	30.7	0.8
P1	C3	V2	R2	48.5	17.2	0.9	P1	C4	V2	R2	42.6	20.3	4377	0.6	P2	C3	V2	R2	30.9	27.8	0.8	P2	C4	V2	R2	35.9	30.3	0.6
P1	C3	V2	R3	51.0	21.2	1.0	P1	C4	V2	R3	47.2	18.5	4784	0.7	P2	C3	V2	R3	33.3	31.4	0.8	P2	C4	V2	R3	39.4	26.3	0.8
P1	C3	V2	R4	53.8	19.1	1.2	P1	C4	V2	R4	43.8	17.8	4479	0.6	P2	C3	V2	R4	33.0	28.9	0.9	P2	C4	V2	R4	34.4	23.1	0.6
P1	C3	V2	R5	50.6	19.8	1.1	P1	C4	V2	R5	49.2	20.3	4617	0.7	P2	C3	V2	R5	29.8	29.4	0.8	P2	C4	V2	R5	37.4	24.9	0.7

A continuación se muestran las gráficas correspondientes a los ensayos de corte de plástico con cuchilla para las diferentes combinaciones de:

Plástico 1 (P1), 0.030mm de grosor.

Plástico 2 (P2), 0.023mm, *no se consiguió evaluar*.

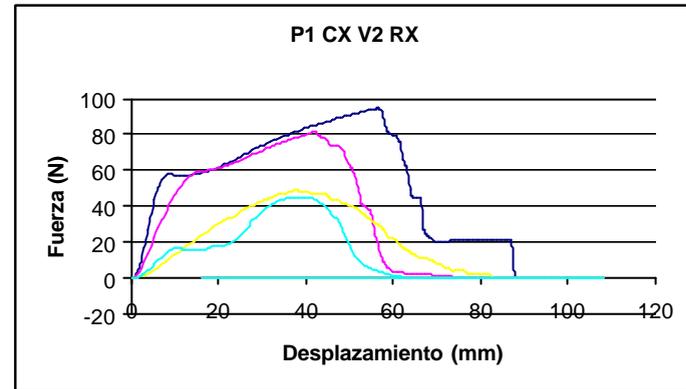
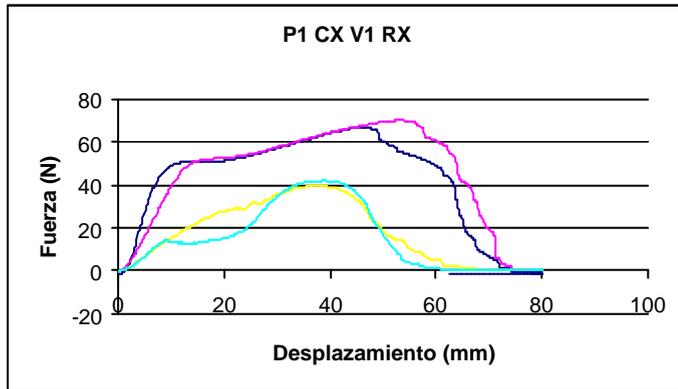
Cuchilla CX

- C1 Borde cortante recto (línea azul oscuro)
- C2 Borde cortante cuchilla "V" (línea rosa)
- C3 Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero (línea amarilla)
- C4 Borde cortante con dientes en forma de triángulo isósceles (línea azul claro)

Velocidad 1 (V1) 1mm/s

Velocidad 2 (V2) 10mm/s

Repetición (RX) Representa el promedio de los 5 ensayos realizados para esa combinación.



En la tabla 2 se muestra un resumen promediado de los resultados de los ensayos de corte de plástico sobre suelo con cuchilla en diferentes suelos, humedades, compactaciones y velocidades para las diferentes combinaciones de:

Plástico 1 (P1), 0.030mm de grosor

Plástico 2 (P2), 0.023mm de grosor

C1 Borde cortante recto

C2 Borde cortante cuchilla "V"

C3 Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero

C4 Borde cortante con dientes en forma de triángulo isósceles

S1, Suelo franco – arcilloso

S2, Suelo franco – arenoso

H1, Humedad a punto de marchitamiento permanente (PMP)

H2, Humedad a capacidad de campo (CC)

F1, Compactación por propio peso del suelo

F2, Compactación forzada

Velocidad 1 (V1) 1mm/s

Velocidad 2 (V2) 10mm/s

Repetición (RX) Representa el promedio de los 5 ensayos realizados para esa combinación.

Tabla 2. Resumen pruebas de corte de plástico sobre suelo en texturómetro

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)
C1	H1	S1	F1	P1	V1	RX	124.7	0.0	34.4	8.0	C1	H1	S1	F1	P2	V1	RX	124.1	85.6	53.2	7.5
C1	H1	S1	F1	P1	V2	RX	132.7	0.0	41.8	7.5	C1	H1	S1	F1	P2	V2	RX	164.3	135.0	61.2	9.6
C1	H1	S1	F2	P1	V1	RX	145.5	127.7	45.8	9.6	C1	H1	S1	F2	P2	V1	RX	130.5	128.0	57.3	8.3
C1	H1	S1	F2	P1	V2	RX	153.6	151.5	33.0	11.6	C1	H1	S1	F2	P2	V2	RX	137.5	136.3	46.3	9.3
C1	H2	S1	F1	P1	V1	RX	90.0	57.1	70.7	5.7	C1	H2	S1	F1	P2	V1	RX	77.8	64.1	71.7	5.2
C1	H2	S1	F1	P1	V2	RX	90.3	68.8	64.1	5.8	C1	H2	S1	F1	P2	V2	RX	90.3	85.9	69.2	6.5
C1	H2	S1	F2	P1	V1	RX	96.3	81.4	62.2	6.7	C1	H2	S1	F2	P2	V1	RX	78.8	65.2	75.4	5.9
C1	H2	S1	F2	P1	V2	RX	143.9	129.0	65.9	9.2	C1	H2	S1	F2	P2	V2	RX	97.2	101.0	60.8	7.1
C2	H1	S1	F1	P1	V1	RX	134.8	0.0	50.5	6.7	C2	H1	S1	F1	P2	V1	RX	118.1	71.9	48.9	6.4
C2	H1	S1	F1	P1	V2	RX	130.1	0.0	38.2	7.8	C2	H1	S1	F1	P2	V2	RX	89.0	58.5	50.4	5.3
C2	H1	S1	F2	P1	V1	RX	127.5	104.5	46.1	8.3	C2	H1	S1	F2	P2	V1	RX	97.2	109.4	45.1	6.4
C2	H1	S1	F2	P1	V2	RX	125.1	106.8	39.4	7.7	C2	H1	S1	F2	P2	V2	RX	116.5	96.8	50.5	7.1
C2	H2	S1	F1	P1	V1	RX	91.6	66.9	64.0	6.2	C2	H2	S1	F1	P2	V1	RX	90.9	91.7	68.0	6.5
C2	H2	S1	F1	P1	V2	RX	114.2	88.5	68.3	7.5	C2	H2	S1	F1	P2	V2	RX	102.0	96.4	68.5	6.8
C2	H2	S1	F2	P1	V1	RX	85.0	98.0	50.8	6.3	C2	H2	S1	F2	P2	V1	RX	100.0	137.8	49.2	8.3
C2	H2	S1	F2	P1	V2	RX	124.7	125.4	48.1	9.2	C2	H2	S1	F2	P2	V2	RX	110.2	166.8	51.4	9.6
C3	H1	S1	F1	P1	V1	RX	76.7	124.8	32.8	6.5	C3	H1	S1	F1	P2	V1	RX	88.2	128.7	41.5	6.7
C3	H1	S1	F1	P1	V2	RX	82.8	118.0	36.2	5.9	C3	H1	S1	F1	P2	V2	RX	85.4	144.5	31.5	9.2
C3	H1	S1	F2	P1	V1	RX	124.2	153.4	39.7	9.6	C3	H1	S1	F2	P2	V1	RX	123.7	153.6	37.3	9.5
C3	H1	S1	F2	P1	V2	RX	144.7	150.8	36.3	10.8	C3	H1	S1	F2	P2	V2	RX	115.2	173.1	39.4	9.3
C3	H2	S1	F1	P1	V1	RX	55.4	55.3	47.1	3.5	C3	H2	S1	F1	P2	V1	RX	52.6	71.6	47.9	3.9
C3	H2	S1	F1	P1	V2	RX	68.3	91.0	42.2	5.2	C3	H2	S1	F1	P2	V2	RX	70.8	75.1	50.7	4.8
C3	H2	S1	F2	P1	V1	RX	74.8	97.5	40.1	5.7	C3	H2	S1	F2	P2	V1	RX	77.4	128.6	36.8	7.5
C3	H2	S1	F2	P1	V2	RX	88.4	150.1	37.5	7.9	C3	H2	S1	F2	P2	V2	RX	66.4	93.3	44.1	5.3
C4	H1	S1	F1	P1	V1	RX	85.5	111.1	42.7	5.6	C4	H1	S1	F1	P2	V1	RX	101.6	127.2	44.0	7.0
C4	H1	S1	F1	P1	V2	RX	97.6	105.0	39.7	5.6	C4	H1	S1	F1	P2	V2	RX	126.4	131.0	44.7	7.7
C4	H1	S1	F2	P1	V1	RX	137.9	203.7	39.3	11.0	C4	H1	S1	F2	P2	V1	RX	143.7	164.0	41.8	10.3
C4	H1	S1	F2	P1	V2	RX	123.6	194.0	32.7	10.7	C4	H1	S1	F2	P2	V2	RX	186.6	196.7	39.7	11.4
C4	H2	S1	F1	P1	V1	RX	67.9	63.7	47.9	3.8	C4	H2	S1	F1	P2	V1	RX	54.6	67.1	46.7	3.6
C4	H2	S1	F1	P1	V2	RX	70.9	89.8	42.2	5.0	C4	H2	S1	F1	P2	V2	RX	64.8	81.1	48.5	4.5
C4	H2	S1	F2	P1	V1	RX	82.5	93.9	37.7	5.8	C4	H2	S1	F2	P2	V1	RX	71.4	101.8	38.1	6.1
C4	H2	S1	F2	P1	V2	RX	89.9	160.3	35.9	8.4	C4	H2	S1	F2	P2	V2	RX	96.4	141.9	46.9	8.4

Continúa Tabla 2. Resumen pruebas de corte de plástico sobre suelo en texturómetro

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Plástico	Velocidad	Repetición	Esfuerzo último del plástico (N)	Esfuerzo último en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Plástico	Velocidad	Repetición	Esfuerzo último del plástico (N)	Esfuerzo último en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Energía (J)
C1	H1	S2	F1	P1	V1	RX	113.2	56.5	32.0	5.4	C1	H1	S2	F1	P2	V1	RX	109.9	56.7	38.5	5.6
C1	H1	S2	F1	P1	V2	RX	138.5	72.4	32.3	6.3	C1	H1	S2	F1	P2	V2	RX	99.5	53.0	33.0	5.1
C1	H1	S2	F2	P1	V1	RX	96.1	45.7	34.2	4.4	C1	H1	S2	F2	P2	V1	RX	98.3	58.3	39.6	5.0
C1	H1	S2	F2	P1	V2	RX	131.4	79.7	35.4	6.3	C1	H1	S2	F2	P2	V2	RX	109.8	52.5	41.0	5.3
C1	H2	S2	F1	P1	V1	RX	97.6	98.7	30.5	5.7	C1	H2	S2	F1	P2	V1	RX	69.9	31.4	53.1	3.8
C1	H2	S2	F1	P1	V2	RX	88.7	47.5	42.3	4.2	C1	H2	S2	F1	P2	V2	RX	78.4	30.1	46.1	3.6
C1	H2	S2	F2	P1	V1	RX	119.6	133.5	29.7	7.7	C1	H2	S2	F2	P2	V1	RX	85.1	77.3	32.5	5.1
C1	H2	S2	F2	P1	V2	RX	102.8	105.4	30.9	5.6	C1	H2	S2	F2	P2	V2	RX	93.8	100.0	29.8	5.9
C2	H1	S2	F1	P1	V1	RX	91.2	40.2	39.0	3.7	C2	H1	S2	F1	P2	V1	RX	79.9	38.0	36.3	3.4
C2	H1	S2	F1	P1	V2	RX	117.7	40.5	41.2	4.5	C2	H1	S2	F1	P2	V2	RX	83.0	37.8	45.7	3.8
C2	H1	S2	F2	P1	V1	RX	97.5	42.4	34.9	3.9	C2	H1	S2	F2	P2	V1	RX	95.9	67.6	36.3	4.9
C2	H1	S2	F2	P1	V2	RX	97.7	43.7	32.4	4.2	C2	H1	S2	F2	P2	V2	RX	91.6	53.0	36.0	4.2
C2	H2	S2	F1	P1	V1	RX	72.1	28.5	43.2	3.2	C2	H2	S2	F1	P2	V1	RX	63.8	26.5	45.0	2.9
C2	H2	S2	F1	P1	V2	RX	80.8	37.6	40.8	3.9	C2	H2	S2	F1	P2	V2	RX	66.8	34.5	47.7	3.4
C2	H2	S2	F2	P1	V1	RX	92.8	71.0	29.7	4.9	C2	H2	S2	F2	P2	V1	RX	74.7	61.7	26.4	4.4
C2	H2	S2	F2	P1	V2	RX	102.7	78.6	31.6	5.5	C2	H2	S2	F2	P2	V2	RX	74.7	86.0	26.5	5.2
C3	H1	S2	F1	P1	V1	RX	73.5	67.7	28.5	4.4	C3	H1	S2	F1	P2	V1	RX	72.0	53.1	38.3	3.8
C3	H1	S2	F1	P1	V2	RX	70.9	40.4	34.3	3.2	C3	H1	S2	F1	P2	V2	RX	60.6	39.7	34.8	3.1
C3	H1	S2	F2	P1	V1	RX	64.0	52.6	28.6	3.3	C3	H1	S2	F2	P2	V1	RX	72.5	64.6	33.2	4.1
C3	H1	S2	F2	P1	V2	RX	74.5	68.3	28.7	4.1	C3	H1	S2	F2	P2	V2	RX	76.9	71.0	34.0	4.4
C3	H2	S2	F1	P1	V1	RX	51.5	57.2	31.7	3.6	C3	H2	S2	F1	P2	V1	RX	44.9	33.6	39.2	2.6
C3	H2	S2	F1	P1	V2	RX	52.3	37.6	29.2	2.7	C3	H2	S2	F1	P2	V2	RX	44.5	27.4	46.0	2.3
C3	H2	S2	F2	P1	V1	RX	64.4	80.6	30.0	4.9	C3	H2	S2	F2	P2	V1	RX	54.9	77.2	31.0	4.2
C3	H2	S2	F2	P1	V2	RX	58.4	90.4	25.5	4.5	C3	H2	S2	F2	P2	V2	RX	73.5	92.4	38.1	5.3
C4	H1	S2	F1	P1	V1	RX	66.8	42.7	35.0	3.1	C4	H1	S2	F1	P2	V1	RX	64.4	42.6	39.8	3.2
C4	H1	S2	F1	P1	V2	RX	82.1	40.0	44.1	3.6	C4	H1	S2	F1	P2	V2	RX	60.3	32.3	36.6	2.4
C4	H1	S2	F2	P1	V1	RX	124.5	117.5	36.2	6.7	C4	H1	S2	F2	P2	V1	RX	128.5	110.6	42.1	7.4
C4	H1	S2	F2	P1	V2	RX	94.1	67.3	32.5	4.4	C4	H1	S2	F2	P2	V2	RX	101.2	95.6	37.5	5.6
C4	H2	S2	F1	P1	V1	RX	66.8	46.6	35.5	3.4	C4	H2	S2	F1	P2	V1	RX	49.4	59.8	46.5	3.7
C4	H2	S2	F1	P1	V2	RX	63.7	55.0	47.2	3.5	C4	H2	S2	F1	P2	V2	RX	54.7	32.3	44.6	2.8
C4	H2	S2	F2	P1	V1	RX	89.6	101.6	36.1	5.8	C4	H2	S2	F2	P2	V1	RX	62.8	131.0	31.8	5.7
C4	H2	S2	F2	P1	V2	RX	92.7	85.1	32.1	5.2	C4	H2	S2	F2	P2	V2	RX	79.2	103.4	32.5	5.9

En la tabla 3 se muestran los resultados de los ensayos de corte de plástico sobre suelo con cuchilla en diferentes suelos, humedades, compactaciones y velocidades para las diferentes combinaciones

Tabla 3. Pruebas de corte de plástico sobre suelo en texturómetro															
Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa	
C1	H1	S1	F1	P1	V1	R1	111.0		38.7	4627	6.5	7.3	No evaluada	635	
C1	H1	S1	F1	P1	V1	R2	133.7		40.9	5444	8.1				
C1	H1	S1	F1	P1	V1	R3	110.0		31.1	7269	8.0				
C1	H1	S1	F1	P1	V1	R4	148.0		29.2	8400	8.9				
C1	H1	S1	F1	P1	V1	R5	121.0		32.0	5939	8.6				
Promedios							124.7		34.4	6336	8.0				
C1	H1	S1	F1	P1	V2	R1	109.7		40.7	3570	5.5	7.3	No evaluada	232	
C1	H1	S1	F1	P1	V2	R2	123.4		39.8	5665	7.4				
C1	H1	S1	F1	P1	V2	R3	145.3		46.3	5424	7.9				
C1	H1	S1	F1	P1	V2	R4	104.7		41.5	5019	6.6				
C1	H1	S1	F1	P1	V2	R5	180.3		40.8	8400	10.2				
Promedios							132.7		41.8	5616	7.5				
C1	H1	S1	F2	P1	V1	R1	132.9	144.3	42.9	5792	10.6	7.3	No evaluada	217	
C1	H1	S1	F2	P1	V1	R2	127.9	76.7	35.8	4012	7.8				
C1	H1	S1	F2	P1	V1	R3	156.6	94.8	53.5	3715	8.8				
C1	H1	S1	F2	P1	V1	R4	170.0	174.0	48.6	4681	12.2				
C1	H1	S1	F2	P1	V1	R5	139.9	148.9	48.0	3821	8.6				
Promedios							145.5	127.7	45.8	4404	9.6				
C1	H1	S1	F2	P1	V2	R1	148.3	97.4	38.3	5336	9.5	7.3	No evaluada	153	
C1	H1	S1	F2	P1	V2	R2	218.0	130.7	37.5	8425	12.2				
C1	H1	S1	F2	P1	V2	R3	126.6	215.9	28.7	5898	14.3				
C1	H1	S1	F2	P1	V2	R4	121.3	158.6	26.3	5380	10.3				
C1	H1	S1	F2	P1	V2	R5	153.6	155.1	34.3	6312	11.9				
Promedios							153.6	151.5	33.0	6270	11.6				
C1	H1	S1	F1	P2	V1	R1	86.6		52.4			7.3	No evaluada	146	
C1	H1	S1	F1	P2	V1	R2	86.7		66.5						
C1	H1	S1	F1	P2	V1	R3	130.5		78.9						
C1	H1	S1	F1	P2	V1	R4	154.8		101.0						
C1	H1	S1	F1	P2	V1	R5	161.8		129.0						
Promedios							124.1		85.6		53.2	3039	7.5		
C1	H1	S1	F1	P2	V2	R1	213.5		117.0			7.3	No evaluada	106	
C1	H1	S1	F1	P2	V2	R2	189.1		150.0						
C1	H1	S1	F1	P2	V2	R3	143.0		114.7						
C1	H1	S1	F1	P2	V2	R4	137.9		131.0						
C1	H1	S1	F1	P2	V2	R5	137.8		162.2						
Promedios							164.3		135.0		61.2	4284	9.6		
C1	H1	S1	F2	P2	V1	R1	107.3		76.7			7.3	No evaluada	117	
C1	H1	S1	F2	P2	V1	R2	126.2		143.2						
C1	H1	S1	F2	P2	V1	R3	105.9		90.8						
C1	H1	S1	F2	P2	V1	R4	146.0		155.3						
C1	H1	S1	F2	P2	V1	R5	167.2		173.9						
Promedios							130.5		128.0		57.3	3320	8.3		
C1	H1	S1	F2	P2	V2	R1	119.2		92.5			7.3	No evaluada	304	
C1	H1	S1	F2	P2	V2	R2	190.0		150.0						
C1	H1	S1	F2	P2	V2	R3	123.7		167.0						
C1	H1	S1	F2	P2	V2	R4	126.8		126.5						
C1	H1	S1	F2	P2	V2	R5	127.9		145.7						
Promedios							137.5		136.3		46.3	6049	9.3		

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico digital	Sensor	Humedad % Gravimétrico gravimétrico	Método gravimétrico	Compactación kPa
C1	H1	S2	F1	P1	V1	R1	103.1	43.8	29.7	4222	4.7	7.3	No evaluada	499		
C1	H1	S2	F1	P1	V1	R2	122.1	43.2	33.6	5020	5.6					
C1	H1	S2	F1	P1	V1	R3	102.2	56.4	31.6	5619	5.2					
C1	H1	S2	F1	P1	V1	R4	107.7	62.5	33.3	4233	5.1					
C1	H1	S2	F1	P1	V1	R5	131.0	76.5	32.0	4531	6.2					
Promedios							113.2	56.5	32.0	4725	5.4					
C1	H1	S2	F1	P1	V2	R1	130.2	70.1	30.3	5424	6.2	7.3	No evaluada	243		
C1	H1	S2	F1	P1	V2	R2	155.0	69.4	39.8	5829	6.2					
C1	H1	S2	F1	P1	V2	R3	107.0	56.7	27.1	4392	4.7					
C1	H1	S2	F1	P1	V2	R4	134.0	73.0	28.7	6258	6.4					
C1	H1	S2	F1	P1	V2	R5	166.4	92.6	35.4	5403	7.8					
Promedios							138.5	72.4	32.3	5461	6.3					
C1	H1	S2	F2	P1	V1	R1	95.7	42.3	32.3	4477	4.3	7.3	No evaluada	175		
C1	H1	S2	F2	P1	V1	R2	83.9	44.9	32.7	3321	4.0					
C1	H1	S2	F2	P1	V1	R3	107.9	42.5	35.2	3715	4.8					
C1	H1	S2	F2	P1	V1	R4	105.9	47.5	36.8	3685	4.7					
C1	H1	S2	F2	P1	V1	R5	87.3	51.3	33.9	3304	4.2					
Promedios							96.1	45.7	34.2	3700	4.4					
C1	H1	S2	F2	P1	V2	R1	122.6	75.3	25.5	5231	5.9	7.3	No evaluada	48		
C1	H1	S2	F2	P1	V2	R2	133.5	79.1	36.7	4825	6.3					
C1	H1	S2	F2	P1	V2	R3	155.7	71.3	40.7	5238	6.8					
C1	H1	S2	F2	P1	V2	R4	131.9	94.1	35.9	4404	7.2					
C1	H1	S2	F2	P1	V2	R5	113.5	78.9	38.3	4364	5.5					
Promedios							131.4	79.7	35.4	4812	6.3					

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico digital	Sensor	Humedad % Gravimétrico gravimétrico	Método gravimétrico	Compactación kPa
C1	H1	S2	F1	P2	V1	R1	112.4	51.6	39.4	4408	5.9	7.3	No evaluada	253		
C1	H1	S2	F1	P2	V1	R2	112.5	50.2	37.4	4196	5.4					
C1	H1	S2	F1	P2	V1	R3	109.7	62.6	40.3	3162	5.5					
C1	H1	S2	F1	P2	V1	R4	101.6	54.5	39.4	3405	5.2					
C1	H1	S2	F1	P2	V1	R5	113.2	64.6	36.2	4053	5.8					
Promedios							109.9	56.7	38.5	3845	5.6					
C1	H1	S2	F1	P2	V2	R1	106.8	50.9	31.9	4696	5.1	7.3	No evaluada	49		
C1	H1	S2	F1	P2	V2	R2	92.9	48.5	30.3	4072	4.6					
C1	H1	S2	F1	P2	V2	R3	107.4	48.6	32.7	3370	5.0					
C1	H1	S2	F1	P2	V2	R4	100.4	51.9	38.3	4987	5.2					
C1	H1	S2	F1	P2	V2	R5	90.2	64.9	31.9	4066	5.7					
Promedios							99.5	53.0	33.0	4238	5.1					
C1	H1	S2	F2	P2	V1	R1	95.8	60.8	39.6	3110	4.8	7.3	No evaluada	154		
C1	H1	S2	F2	P2	V1	R2	102.0	45.9	47.0	2347	5.0					
C1	H1	S2	F2	P2	V1	R3	93.4	60.6	37.8	2768	5.0					
C1	H1	S2	F2	P2	V1	R4	99.2	66.1	36.2	3458	4.9					
C1	H1	S2	F2	P2	V1	R5	101.2	58.1	37.2	3346	5.1					
Promedios							98.3	58.3	39.6	3006	5.0					
C1	H1	S2	F2	P2	V2	R1	107.8	40.6	43.8	3437	5.0	7.3	No evaluada	152		
C1	H1	S2	F2	P2	V2	R2	101.3	46.3	43.1	3247	5.1					
C1	H1	S2	F2	P2	V2	R3	111.6	52.6	40.6	3324	5.5					
C1	H1	S2	F2	P2	V2	R4	120.5	62.3	39.9	3834	5.8					
C1	H1	S2	F2	P2	V2	R5	107.9	60.8	37.5	3525	5.1					
Promedios							109.8	52.5	41.0	3473	5.3					

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico digital	Sensor	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C1	H2	S1	F1	P1	V1	R1	98.5	46.8	63.7	1934	6.3	18.0	55.3	112	
C1	H2	S1	F1	P1	V1	R2	95.7	54.7	87.4	2215	6.1				
C1	H2	S1	F1	P1	V1	R3	91.1	82.9	86.4	1413	6.0				
C1	H2	S1	F1	P1	V1	R4	86.2	60.7	56.0	2031	5.2				
C1	H2	S1	F1	P1	V1	R5	78.4	40.6	59.8	2050	4.8				
Promedios							90.0	57.1	70.7	1929	5.7				
C1	H2	S1	F1	P1	V2	R1	97.5	89.1	60.7	2664	6.5	37.2	55.3		
C1	H2	S1	F1	P1	V2	R2	83.8	70.1	53.9	2058	5.6				
C1	H2	S1	F1	P1	V2	R3	106.4	74.2	79.9	2172	6.6				
C1	H2	S1	F1	P1	V2	R4	91.3	71.4	58.7	2570	6.0				
C1	H2	S1	F1	P1	V2	R5	72.7	39.1	67.5	1520	4.2				
Promedios							90.3	68.8	64.1	2197	5.8				
C1	H2	S1	F2	P1	V1	R1	94.5	72.6	46.5	4141	6.6	38.5	55.3	108	
C1	H2	S1	F2	P1	V1	R2	101.2	81.4	66.9	1812	7.0				
C1	H2	S1	F2	P1	V1	R3	85.9	92.7	57.3	1722	6.1				
C1	H2	S1	F2	P1	V1	R4	97.8	83.6	64.6	2097	6.7				
C1	H2	S1	F2	P1	V1	R5	102.0	76.7	75.5	1953	7.1				
Promedios							96.3	81.4	62.2	2345	6.7				
C1	H2	S1	F2	P1	V2	R1	138.3	155.5	59.9	2397	10.4	37.5	55.3	236	
C1	H2	S1	F2	P1	V2	R2	196.9	117.3	70.3	1897	8.5				
C1	H2	S1	F2	P1	V2	R3	121.9	129.2	60.9	2190	8.5				
C1	H2	S1	F2	P1	V2	R4	121.4	107.9	67.9	2515	8.7				
C1	H2	S1	F2	P1	V2	R5	140.9	135.0	70.7	2140	9.7				
Promedios							143.9	129.0	65.9	2228	9.2				

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico digital	Sensor	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C1	H2	S1	F1	P2	V1	R1	75.4	72.0	78.4	910	5.7	36.4	38.2	300	
C1	H2	S1	F1	P2	V1	R2	66.7	75.5	65.3	1211	4.5				
C1	H2	S1	F1	P2	V1	R3	82.9	67.3	77.5	1006	5.6				
C1	H2	S1	F1	P2	V1	R4	75.7	56.5	58.9	1581	5.0				
C1	H2	S1	F1	P2	V1	R5	88.2	49.1	78.4	1244	5.3				
Promedios							77.8	64.1	71.7	1190	5.2				
C1	H2	S1	F1	P2	V2	R1	88.7	88.7	55.1	2313	6.7	35.6	38.2	368	
C1	H2	S1	F1	P2	V2	R2	88.9	96.7	57.5	1922	6.6				
C1	H2	S1	F1	P2	V2	R3	90.2	76.0	80.3	1204	6.1				
C1	H2	S1	F1	P2	V2	R4	103.3	86.5	71.5	1522	6.9				
C1	H2	S1	F1	P2	V2	R5	80.4	81.6	81.5	2397	6.2				
Promedios							90.3	85.9	69.2	1872	6.5				
C1	H2	S1	F2	P2	V1	R1	97.7	76.1	85.4	2151	7.0	35.6	38.2	331	
C1	H2	S1	F2	P2	V1	R2	72.3	56.7	76.2	1057	5.4				
C1	H2	S1	F2	P2	V1	R3	62.6	57.6	60.8	1803	4.9				
C1	H2	S1	F2	P2	V1	R4	73.6	64.0	80.4	1553	5.7				
C1	H2	S1	F2	P2	V1	R5	87.6	71.5	74.0	1245	6.5				
Promedios							78.8	65.2	75.4	1562	5.9				
C1	H2	S1	F2	P2	V2	R1	109.1	110.8	63.4	2061	7.9	36.7	38.2	471	
C1	H2	S1	F2	P2	V2	R2	92.9	91.0	49.9	2142	6.5				
C1	H2	S1	F2	P2	V2	R3	94.6	86.2	55.5	1922	6.3				
C1	H2	S1	F2	P2	V2	R4	100.4	103.0	63.1	2022	7.7				
C1	H2	S1	F2	P2	V2	R5	88.9	113.9	72.3	1951	7.3				
Promedios							97.2	101.0	60.8	2020	7.1				

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C1	H2	S2	F1	P1	V1	R1	92.5	51.4	27.2	4060	4.2	25.5	15.3	138
C1	H2	S2	F1	P1	V1	R2	115.8	88.1	36.5	3346	6.0			
C1	H2	S2	F1	P1	V1	R3	89.7	98.2	27.9	3403	5.8			
C1	H2	S2	F1	P1	V1	R4	96.3	93.9	29.8	3828	5.6			
C1	H2	S2	F1	P1	V1	R5	93.7	161.8	31.1	3628	6.9			
Promedios							97.6	98.7	30.5	3653	5.7			
C1	H2	S2	F1	P1	V2	R1	85.6	33.2	54.3	1958	3.7	16.0	15.3	115
C1	H2	S2	F1	P1	V2	R2	80.0	41.4	38.3	2445	3.5			
C1	H2	S2	F1	P1	V2	R3	84.2	40.3	42.3	2661	4.1			
C1	H2	S2	F1	P1	V2	R4	110.0	52.3	43.1	3277	5.3			
C1	H2	S2	F1	P1	V2	R5	83.7	70.1	33.5	3344	4.5			
Promedios							88.7	47.5	42.3	2737	4.2			
C1	H2	S2	F2	P1	V1	R1	126.4	127.5	28.8	5267	8.3	36.4	15.3	393
C1	H2	S2	F2	P1	V1	R2	117.1	150.9	30.4	4950	7.8			
C1	H2	S2	F2	P1	V1	R3	117.5	143.0	31.7	4522	7.5			
C1	H2	S2	F2	P1	V1	R4	124.7	110.7	28.5	5732	7.6			
C1	H2	S2	F2	P1	V1	R5	112.3	135.4	28.9	5632	7.3			
Promedios							119.6	133.5	29.7	5221	7.7			
C1	H2	S2	F2	P1	V2	R1	93.9	76.6	36.7	4225	4.9	25.5	15.3	245
C1	H2	S2	F2	P1	V2	R2	98.3	127.0	26.3	4519	6.0			
C1	H2	S2	F2	P1	V2	R3	121.6	112.0	35.1	4541	5.5			
C1	H2	S2	F2	P1	V2	R4	108.5	118.3	27.1	5223	6.2			
C1	H2	S2	F2	P1	V2	R5	91.9	93.1	29.5	4476	5.5			
Promedios							102.8	105.4	30.9	4597	5.6			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C1	H2	S2	F1	P2	V1	R1	60.9	31.2	55.0	1679	3.4	36.4	17.6	119
C1	H2	S2	F1	P2	V1	R2	77.1	25.3	55.0	1806	3.8			
C1	H2	S2	F1	P2	V1	R3	60.5	29.6	45.5	1605	3.2			
C1	H2	S2	F1	P2	V1	R4	71.5	35.4	58.9	1266	4.1			
C1	H2	S2	F1	P2	V1	R5	79.5	35.3	51.2	1873	4.6			
Promedios							69.9	31.4	53.1	1646	3.8			
C1	H2	S2	F1	P2	V2	R1	60.6	19.5	44.7	1497	2.8	31.3	17.6	78
C1	H2	S2	F1	P2	V2	R2	78.4	25.0	45.5	2100	3.7			
C1	H2	S2	F1	P2	V2	R3	80.9	35.4	51.1	1856	4.1			
C1	H2	S2	F1	P2	V2	R4	83.8	33.7	45.5	2289	3.7			
C1	H2	S2	F1	P2	V2	R5	88.2	36.9	43.9	2163	3.9			
Promedios							78.4	30.1	46.1	1981	3.6			
C1	H2	S2	F2	P2	V1	R1	95.6	91.4	32.0	3379	6.1	30.9	17.6	244
C1	H2	S2	F2	P2	V1	R2	83.0	72.1	37.8	2747	4.5			
C1	H2	S2	F2	P2	V1	R3	82.8	86.6	29.5	3434	5.1			
C1	H2	S2	F2	P2	V1	R4	87.9	68.0	33.3	2963	5.1			
C1	H2	S2	F2	P2	V1	R5	76.1	68.5	30.1	2679	4.6			
Promedios							85.1	77.3	32.5	3040	5.1			
C1	H2	S2	F2	P2	V2	R1	90.8	66.6	32.7	4167	5.1	26.2	17.6	457
C1	H2	S2	F2	P2	V2	R2	99.4	86.2	31.1	3197	5.7			
C1	H2	S2	F2	P2	V2	R3	94.6	120.7	31.1	4161	6.4			
C1	H2	S2	F2	P2	V2	R4	98.0	128.0	27.1	3822	6.8			
C1	H2	S2	F2	P2	V2	R5	86.3	98.5	27.1	3718	5.7			
Promedios							93.8	100.0	29.8	3813	5.9			

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico	Sensor digital	Método gravimétrico	Compactación kPa	
C2	H1	S1	F1	P1	V1	R1	156.7		65.0	3889	6.1					
C2	H1	S1	F1	P1	V1	R2	128.9		42.8	3895	6.8					
C2	H1	S1	F1	P1	V1	R3	152.2		41.9	5955	8.0		7.3	No evaluada	102	
C2	H1	S1	F1	P1	V1	R4	124.8		64.6	2745	7.6					
C2	H1	S1	F1	P1	V1	R5	111.3		38.1	3834	5.0					
Promedios							134.8		50.5	4064	6.7					
C2	H1	S1	F1	P1	V2	R1	104.8		35.1	4425	6.2					
C2	H1	S1	F1	P1	V2	R2	98.1		35.1	6288	7.1		7.3	No evaluada	110	
C2	H1	S1	F1	P1	V2	R3	180.0		42.0	6626	8.6					
C2	H1	S1	F1	P1	V2	R4	121.8		41.5	5405	7.5					
C2	H1	S1	F1	P1	V2	R5	145.9		37.3	7617	9.9					
Promedios							130.1		38.2	6072	7.8					
C2	H1	S1	F2	P1	V1	R1	104.4	77.3	48.9	3317	6.5					
C2	H1	S1	F2	P1	V1	R2	118.0	73.3	51.8	3035	6.7		7.3	No evaluada	63	
C2	H1	S1	F2	P1	V1	R3	150.0	130.0	32.3	4675	9.8					
C2	H1	S1	F2	P1	V1	R4	141.8	137.0	39.7	4413	9.9					
C2	H1	S1	F2	P1	V1	R5	123.5	105.0	57.6	4325	8.5					
Promedios							127.5	104.5	46.1	3953	8.3					
C2	H1	S1	F2	P1	V2	R1	123.0	58.7	46.3	3087	6.7					
C2	H1	S1	F2	P1	V2	R2	121.0	76.2	41.5	3789	6.9		7.3	No evaluada	258	
C2	H1	S1	F2	P1	V2	R3	129.9	121.9	35.9	5031	8.0					
C2	H1	S1	F2	P1	V2	R4	133.0	122.3	35.9	4567	9.5					
C2	H1	S1	F2	P1	V2	R5	118.5	154.7	37.5	4018	7.3					
Promedios							125.1	106.8	39.4	4098	7.7					

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico	Sensor digital	Método gravimétrico	Compactación kPa	
C2	H1	S1	F1	P2	V1	R1	107.1	55.4	43.5	2777	5.5					
C2	H1	S1	F1	P2	V1	R2	111.2	65.7	53.4	2280	5.9		7.3	No evaluada	264	
C2	H1	S1	F1	P2	V1	R3	98.4	65.9	42.5	2896	5.5					
C2	H1	S1	F1	P2	V1	R4	150.2	85.1	52.5	3592	8.5					
C2	H1	S1	F1	P2	V1	R5	123.7	87.3	52.8	5196	6.6					
Promedios							118.1	71.9	48.9	3348	6.4					
C2	H1	S1	F1	P2	V2	R1	77.6	31.3	60.7	2306	4.3					
C2	H1	S1	F1	P2	V2	R2	87.5	50.4	40.7	3300	5.1		7.3	No evaluada	56	
C2	H1	S1	F1	P2	V2	R3	79.6	50.3	47.9	2550	4.8					
C2	H1	S1	F1	P2	V2	R4	99.1	83.2	59.0	3119	6.3					
C2	H1	S1	F1	P2	V2	R5	101.0	77.4	43.9	3070	6.1					
Promedios							89.0	58.5	50.4	2869	5.3					
C2	H1	S1	F2	P2	V1	R1	81.8	74.9	41.6	2640	5.1					
C2	H1	S1	F2	P2	V1	R2	97.5	77.3	42.6	2789	5.2		7.3	No evaluada	181	
C2	H1	S1	F2	P2	V1	R3	98.5	116.0	38.1	2397	7.2					
C2	H1	S1	F2	P2	V1	R4	108.0	161.0	48.0	2701	7.4					
C2	H1	S1	F2	P2	V1	R5	100.2	117.7	55.4	2774	6.9					
Promedios							97.2	109.4	45.1	2660	6.4					
C2	H1	S1	F2	P2	V2	R1	85.9	54.9	40.7	3407	5.2					
C2	H1	S1	F2	P2	V2	R2	97.7	70.0	44.7	2842	5.8		7.3	No evaluada	242	
C2	H1	S1	F2	P2	V2	R3	121.9	123.8	45.5	2431	8.4					
C2	H1	S1	F2	P2	V2	R4	149.8	131.3	67.1	3311	8.8					
C2	H1	S1	F2	P2	V2	R5	127.0	103.8	54.3	2583	7.5					
Promedios							116.5	96.8	50.5	2915	7.1					

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico	Sensor digital	Humedad % Gravimétrico	Método gravimétrico	Compactación kPa
C2	H1	S2	F1	P1	V1	R1	87.7	35.3	42.9	2526	3.5	7.3	No evaluada	153		
C2	H1	S2	F1	P1	V1	R2	91.2	33.1	44.8	2937	3.5					
C2	H1	S2	F1	P1	V1	R3	93.3	38.9	38.4	2885	3.3					
C2	H1	S2	F1	P1	V1	R4	87.2	41.7	31.4	3381	3.5					
C2	H1	S2	F1	P1	V1	R5	96.8	51.9	37.7	3115	4.6					
Promedios							91.2	40.2	39.0	2969	3.7	7.3	No evaluada	80		
C2	H1	S2	F1	P1	V2	R1	103.1	27.2	44.7	3252	4.0					
C2	H1	S2	F1	P1	V2	R2	118.6	38.0	43.9	3255	4.3					
C2	H1	S2	F1	P1	V2	R3	113.2	43.9	39.9	3771	4.2					
C2	H1	S2	F1	P1	V2	R4	138.0	43.8	42.3	3933	5.2					
C2	H1	S2	F1	P1	V2	R5	115.7	49.6	35.1	4139	4.9					
Promedios							117.7	40.5	41.2	3670	4.5	7.3	No evaluada	49		
C2	H1	S2	F2	P1	V1	R1	101.6	36.3	37.2	4052	4.0					
C2	H1	S2	F2	P1	V1	R2	95.9	41.8	34.5	3240	3.6					
C2	H1	S2	F2	P1	V1	R3	71.2	42.6	32.8	2564	3.3					
C2	H1	S2	F2	P1	V1	R4	104.3	42.6	34.3	4326	4.1					
C2	H1	S2	F2	P1	V1	R5	114.5	48.9	35.5	3893	4.3					
Promedios							97.5	42.4	34.9	3615	3.9	7.3	No evaluada	128		
C2	H1	S2	F2	P1	V2	R1	94.8	38.3	31.9	4483	3.6					
C2	H1	S2	F2	P1	V2	R2	96.3	38.2	34.3	3424	4.4					
C2	H1	S2	F2	P1	V2	R3	93.1	37.9	31.1	4373	3.6					
C2	H1	S2	F2	P1	V2	R4	108.5	48.9	36.7	3815	4.8					
C2	H1	S2	F2	P1	V2	R5	95.6	55.1	27.9	4492	4.5					
Promedios							97.7	43.7	32.4	4117	4.2					

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico	Sensor digital	Humedad % Gravimétrico	Método gravimétrico	Compactación kPa
C2	H1	S2	F1	P2	V1	R1	70.1	28.8	35.7	2375	2.9	7.3	No evaluada	57		
C2	H1	S2	F1	P2	V1	R2	97.0	42.2	41.6	2048	4.1					
C2	H1	S2	F1	P2	V1	R3	67.4	40.4	30.1	2647	3.2					
C2	H1	S2	F1	P2	V1	R4	83.2	36.9	37.8	2654	3.4					
C2	H1	S2	F1	P2	V1	R5	81.6	41.7	36.5	2581	3.6					
Promedios							79.9	38.0	36.3	2461	3.4	7.3	No evaluada	46		
C2	H1	S2	F1	P2	V2	R1	86.2	29.8	57.5	2045	4.2					
C2	H1	S2	F1	P2	V2	R2	79.7	35.8	44.7	2235	3.5					
C2	H1	S2	F1	P2	V2	R3	88.8	38.3	47.9	2460	3.8					
C2	H1	S2	F1	P2	V2	R4	74.2	37.4	37.5	2517	3.5					
C2	H1	S2	F1	P2	V2	R5	86.2	47.6	40.7	2637	4.2					
Promedios							83.0	37.8	45.7	2379	3.8	7.3	No evaluada	147		
C2	H1	S2	F2	P2	V1	R1	90.6	59.2	32.4	3202	4.4					
C2	H1	S2	F2	P2	V1	R2	97.9	54.6	42.3	657	4.5					
C2	H1	S2	F2	P2	V1	R3	95.3	63.0	38.1	3792	4.6					
C2	H1	S2	F2	P2	V1	R4	89.5	74.3	31.7	3466	5.0					
C2	H1	S2	F2	P2	V1	R5	106.0	86.8	36.8	3430	5.8					
Promedios							95.9	67.6	36.3	2909	4.9	7.3	No evaluada	139		
C2	H1	S2	F2	P2	V2	R1	90.7	40.0	35.4	3599	4.3					
C2	H1	S2	F2	P2	V2	R2	90.5	49.3	35.1	4032	3.9					
C2	H1	S2	F2	P2	V2	R3	91.9	52.2	38.3	3163	3.9					
C2	H1	S2	F2	P2	V2	R4	100.3	63.6	38.3	4019	4.7					
C2	H1	S2	F2	P2	V2	R5	84.7	59.7	32.7	3592	4.0					
Promedios							91.6	53.0	36.0	3681	4.2					

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C2	H2	S1	F1	P1	V1	R1	87.7	58.9	63.4	1548	6.2	34.5	55.6	213
C2	H2	S1	F1	P1	V1	R2	87.9	58.9	66.6	1636	5.7			
C2	H2	S1	F1	P1	V1	R3	93.2	60.7	75.8	1390	5.8			
C2	H2	S1	F1	P1	V1	R4	81.9	78.9	47.7	2343	6.2			
C2	H2	S1	F1	P1	V1	R5	107.5	77.3	66.3	2499	7.0			
Promedios							91.6	66.9	64.0	1883	6.2			
C2	H2	S1	F1	P1	V2	R1	135.1	79.7	74.3	1925	8.1	36.4	55.6	257
C2	H2	S1	F1	P1	V2	R2	117.0	79.8	74.3	1722	7.2			
C2	H2	S1	F1	P1	V2	R3	107.1	94.8	66.7	1875	7.2			
C2	H2	S1	F1	P1	V2	R4	97.5	107.9	59.9	2538	7.7			
C2	H2	S1	F1	P1	V2	R5	114.3	80.3	66.3	1896	7.2			
Promedios							114.2	88.5	68.3	1991	7.5			
C2	H2	S1	F2	P1	V1	R1	86.5	102.6	58.3	2773	6.4	35.0	55.6	244
C2	H2	S1	F2	P1	V1	R2	71.8	109.5	50.6	3250	6.1			
C2	H2	S1	F2	P1	V1	R3	95.1	105.3	41.6	3098	6.9			
C2	H2	S1	F2	P1	V1	R4	76.5	95.5	39.1	2840	5.9			
C2	H2	S1	F2	P1	V1	R5	95.1	77.0	64.3	1769	6.0			
Promedios							85.0	98.0	50.8	2746	6.3			
C2	H2	S1	F2	P1	V2	R1	112.6	127.9	41.5	3144	8.8	34.9	55.6	323
C2	H2	S1	F2	P1	V2	R2	132.2	124.0	48.7	3263	9.2			
C2	H2	S1	F2	P1	V2	R3	138.7	119.0	54.7	2874	9.4			
C2	H2	S1	F2	P1	V2	R4	115.2	127.9	50.3	3200	8.9			
C2	H2	S1	F2	P1	V2	R5	125.0	128.0	45.5	2839	9.9			
Promedios							124.7	125.4	48.1	3064	9.2			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C2	H2	S1	F1	P2	V1	R1	102.7	73.8	64.0	1844	6.0	20.4	49.4	302
C2	H2	S1	F1	P2	V1	R2	59.1	101.3	63.1	2210	5.5			
C2	H2	S1	F1	P2	V1	R3	121.9	112.2	73.6	2218	8.8			
C2	H2	S1	F1	P2	V1	R4	95.7	86.2	69.5	1550	6.7			
C2	H2	S1	F1	P2	V1	R5	75.3	85.1	69.8	1770	5.7			
Promedios							90.9	91.7	68.0	1918	6.5			
C2	H2	S1	F1	P2	V2	R1	115.0	102.6	64.7	1923	7.5	28.0	49.4	277
C2	H2	S1	F1	P2	V2	R2	92.3	108.9	61.5	1560	6.9			
C2	H2	S1	F1	P2	V2	R3	99.1	96.9	71.5	1720	6.8			
C2	H2	S1	F1	P2	V2	R4	93.0	79.1	77.9	1255	5.9			
C2	H2	S1	F1	P2	V2	R5	110.5	94.6	67.1	1845	7.1			
Promedios							102.0	96.4	68.5	1661	6.8			
C2	H2	S1	F2	P2	V1	R1	97.8	172.2	49.9	3062	9.3	31.6	49.4	462
C2	H2	S1	F2	P2	V1	R2	96.2	159.8	38.1	3210	8.9			
C2	H2	S1	F2	P2	V1	R3	96.8	130.9	44.8	2270	8.0			
C2	H2	S1	F2	P2	V1	R4	106.8	128.5	55.7	2184	7.9			
C2	H2	S1	F2	P2	V1	R5	102.3	97.8	57.6	2349	7.3			
Promedios							100.0	137.8	49.2	2615	8.3			
C2	H2	S1	F2	P2	V2	R1	91.6	158.1	47.1	4055	9.0	36.4	49.4	276
C2	H2	S1	F2	P2	V2	R2	134.6	171.2	61.5	2688	10.3			
C2	H2	S1	F2	P2	V2	R3	125.6	168.3	52.3	2671	10.3			
C2	H2	S1	F2	P2	V2	R4	107.8	168.2	49.5	2826	9.5			
C2	H2	S1	F2	P2	V2	R5	91.2	168.1	46.7	2641	8.9			
Promedios							110.2	166.8	51.4	2976	9.6			

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C2	H2	S2	F1	P1	V1	R1	71.9	19.2	62.9	2452	3.1	12.9	18.0	150
C2	H2	S2	F1	P1	V1	R2	77.0	20.8	38.7	2144	3.1			
C2	H2	S2	F1	P1	V1	R3	70.6	31.2	35.2	2651	2.8			
C2	H2	S2	F1	P1	V1	R4	76.8	28.7	47.7	1961	3.2			
C2	H2	S2	F1	P1	V1	R5	64.1	42.5	31.4	2431	3.7			
Promedios							72.1	28.5	43.2	2328	3.2			
C2	H2	S2	F1	P1	V2	R1	78.4	24.1	43.9	1948	3.8	19.3	18.0	87
C2	H2	S2	F1	P1	V2	R2	76.1	25.7	51.1	1884	3.5			
C2	H2	S2	F1	P1	V2	R3	76.9	35.1	36.6	2668	3.4			
C2	H2	S2	F1	P1	V2	R4	90.7	45.5	37.4	2830	4.5			
C2	H2	S2	F1	P1	V2	R5	82.1	57.4	35.0	2940	4.4			
Promedios							80.8	37.6	40.8	2454	3.9			
C2	H2	S2	F2	P1	V1	R1	83.5	54.3	31.7	3434	4.8	18.2	18.0	306
C2	H2	S2	F2	P1	V1	R2	83.2	62.5	29.5	3386	4.4			
C2	H2	S2	F2	P1	V1	R3	87.6	70.4	28.4	3767	4.6			
C2	H2	S2	F2	P1	V1	R4	128.0	84.5	35.2	3983	6.3			
C2	H2	S2	F2	P1	V1	R5	81.7	83.3	23.7	3826	4.6			
Promedios							92.8	71.0	29.7	3679	4.9			
C2	H2	S2	F2	P1	V2	R1	99.0	55.6	35.9	3418	5.5	26.9	18.0	344
C2	H2	S2	F2	P1	V2	R2	105.8	83.8	30.3	4344	5.7			
C2	H2	S2	F2	P1	V2	R3	107.3	95.9	30.3	4447	5.8			
C2	H2	S2	F2	P1	V2	R4	116.7	87.3	34.3	3934	5.7			
C2	H2	S2	F2	P1	V2	R5	84.6	70.5	27.1	3374	4.6			
Promedios							102.7	78.6	31.6	3903	5.5			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C2	H2	S2	F1	P2	V1	R1	60.1	17.7	51.8	1351	2.8	37.1	12.7	104
C2	H2	S2	F1	P2	V1	R2	65.7	29.1	45.1	1721	3.0			
C2	H2	S2	F1	P2	V1	R3	58.1	28.1	40.3	1742	2.8			
C2	H2	S2	F1	P2	V1	R4	63.9	25.3	42.2	1640	2.9			
C2	H2	S2	F1	P2	V1	R5	71.0	32.1	45.8	2056	3.2			
Promedios							63.8	26.5	45.0	1702	2.9			
C2	H2	S2	F1	P2	V2	R1	63.5	19.1	54.3	1397	3.0	23.6	12.7	95
C2	H2	S2	F1	P2	V2	R2	65.0	26.8	52.7	1353	3.1			
C2	H2	S2	F1	P2	V2	R3	69.8	37.4	51.8	1527	3.6			
C2	H2	S2	F1	P2	V2	R4	62.0	42.4	41.5	1818	3.3			
C2	H2	S2	F1	P2	V2	R5	73.9	46.8	38.3	2501	4.0			
Promedios							66.8	34.5	47.7	1719	3.4			
C2	H2	S2	F2	P2	V1	R1	68.2	50.3	25.9	4000	4.1	26.7	12.7	194
C2	H2	S2	F2	P2	V1	R2	81.0	50.3	27.5	3605	4.4			
C2	H2	S2	F2	P2	V1	R3	67.2	59.8	25.9	3080	4.0			
C2	H2	S2	F2	P2	V1	R4	72.3	72.2	26.6	2941	4.6			
C2	H2	S2	F2	P2	V1	R5	85.0	75.8	26.3	3582	5.0			
Promedios							74.7	61.7	26.4	3442	4.4			
C2	H2	S2	F2	P2	V2	R1	70.1	76.5	26.3	3828	5.2	31.6	12.7	384
C2	H2	S2	F2	P2	V2	R2	79.2	79.8	26.3	3526	4.8			
C2	H2	S2	F2	P2	V2	R3	71.2	64.4	29.5	3020	4.3			
C2	H2	S2	F2	P2	V2	R4	69.2	91.8	25.5	3356	5.5			
C2	H2	S2	F2	P2	V2	R5	83.7	117.6	24.7	4170	6.2			
Promedios							74.7	86.0	26.5	3580	5.2			

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C3	H1	S1	F1	P1	V1	R1	76.9	87.7	34.6	2596	5.6	7.3	No evaluada	155
C3	H1	S1	F1	P1	V1	R2	72.8	118.0	37.1	2553	6.4			
C3	H1	S1	F1	P1	V1	R3	62.3	160.1	31.4	2531	7.0			
C3	H1	S1	F1	P1	V1	R4	77.9	120.0	31.7	3110	5.7			
C3	H1	S1	F1	P1	V1	R5	93.6	138.2	29.4	3718	8.0			
Promedios							76.7	124.8	32.8	2902	6.5			
C3	H1	S1	F1	P1	V2	R1	91.5	91.5	36.6	3043	5.3	7.3	No evaluada	167
C3	H1	S1	F1	P1	V2	R2	64.6	110.2	31.8	2516	5.5			
C3	H1	S1	F1	P1	V2	R3	82.5	82.5	36.7	2628	4.6			
C3	H1	S1	F1	P1	V2	R4	77.5	152.0	37.5	2488	7.2			
C3	H1	S1	F1	P1	V2	R5	97.8	154.0	38.3	3244	6.9			
Promedios							82.8	118.0	36.2	2784	5.9			
C3	H1	S1	F2	P1	V1	R1	109.1	74.3	39.7	3277	6.1	7.3	No evaluada	242
C3	H1	S1	F2	P1	V1	R2	144.0	164.0	43.5	4096	11.0			
C3	H1	S1	F2	P1	V1	R3	120.0	168.0	45.1	5025	11.1			
C3	H1	S1	F2	P1	V1	R4	148.0	195.0	35.2	6557	11.1			
C3	H1	S1	F2	P1	V1	R5	100.0	165.8	35.2	3411	8.7			
Promedios							124.2	153.4	39.7	4473	9.6			
C3	H1	S1	F2	P1	V2	R1	134.0	86.8	40.9	4072	7.2	7.3	No evaluada	415
C3	H1	S1	F2	P1	V2	R2	195.0	162.0	33.5	7600	12.9			
C3	H1	S1	F2	P1	V2	R3	143.0	158.2	34.3	4601	11.3			
C3	H1	S1	F2	P1	V2	R4	104.3	147.0	33.5	3100	9.3			
C3	H1	S1	F2	P1	V2	R5	147.1	200.0	39.1	4327	13.3			
Promedios							144.7	150.8	36.3	4740	10.8			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C3	H1	S1	F1	P2	V1	R1	74.7	208.7	38.1	3636	6.9	7.3	No evaluada	199
C3	H1	S1	F1	P2	V1	R2	92.1	117.9	44.5	2373	8.2			
C3	H1	S1	F1	P2	V1	R3	73.9	86.4	35.3	2338	5.3			
C3	H1	S1	F1	P2	V1	R4	81.3	90.0	47.3	2882	5.3			
C3	H1	S1	F1	P2	V1	R5	119.0	140.5	42.5	3298	7.9			
Promedios							88.2	128.7	41.5	2905	6.7			
C3	H1	S1	F1	P2	V2	R1	75.4	136.7	15.9	4743	12.6	7.3	No evaluada	139
C3	H1	S1	F1	P2	V2	R2	67.4	176.6	31.8	2529	8.6			
C3	H1	S1	F1	P2	V2	R3	85.4	99.2	35.8	2942	5.9			
C3	H1	S1	F1	P2	V2	R4	90.8	127.3	39.1	3529	7.1			
C3	H1	S1	F1	P2	V2	R5	108.0	182.8	35.1	4747	12.0			
Promedios							85.4	144.5	31.5	3698	9.2			
C3	H1	S1	F2	P2	V1	R1	135.1	147.7	42.6	6803	9.9	7.3	No evaluada	310
C3	H1	S1	F2	P2	V1	R2	133.4	147.6	37.7	3056	9.1			
C3	H1	S1	F2	P2	V1	R3	119.1	124.9	36.2	3125	7.7			
C3	H1	S1	F2	P2	V1	R4	114.6	179.8	31.4	4148	10.1			
C3	H1	S1	F2	P2	V1	R5	116.2	168.2	38.4	4003	10.8			
Promedios							123.7	153.6	37.3	4227	9.5			
C3	H1	S1	F2	P2	V2	R1	117.0	106.9	31.9	3837	8.2	7.3	No evaluada	316
C3	H1	S1	F2	P2	V2	R2	105.0	216.5	47.9	2058	9.5			
C3	H1	S1	F2	P2	V2	R3	80.2	99.9	36.7	2623	5.6			
C3	H1	S1	F2	P2	V2	R4	117.7	222.0	32.7	3704	13.5			
C3	H1	S1	F2	P2	V2	R5	156.0	220.0	47.9	4223	9.5			
Promedios							115.2	173.1	39.4	3289	9.3			

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C3	H1	S2	F1	P1	V1	R1	61.7	47.8	27.2	2810	3.7	7.3	No evaluada	149
C3	H1	S2	F1	P1	V1	R2	84.6	65.2	27.2	3967	5.1			
C3	H1	S2	F1	P1	V1	R3	74.3	75.2	28.8	3181	4.7			
C3	H1	S2	F1	P1	V1	R4	75.5	70.5	29.4	2916	4.3			
C3	H1	S2	F1	P1	V1	R5	71.5	79.9	29.8	2861	4.4			
Promedios							73.5	67.7	28.5	3147	4.4			
C3	H1	S2	F1	P1	V2	R1	73.8	30.2	37.5	2469	3.1	7.3	No evaluada	72
C3	H1	S2	F1	P1	V2	R2	71.5	37.2	38.3	2565	3.0			
C3	H1	S2	F1	P1	V2	R3	79.0	38.5	34.3	2903	3.3			
C3	H1	S2	F1	P1	V2	R4	69.1	43.5	35.1	2447	3.0			
C3	H1	S2	F1	P1	V2	R5	61.0	52.7	26.3	2715	3.4			
Promedios							70.9	40.4	34.3	2620	3.2			
C3	H1	S2	F2	P1	V1	R1	55.9	44.4	26.6	2400	2.7	7.3	No evaluada	52
C3	H1	S2	F2	P1	V1	R2	78.6	46.1	32.0	3071	3.6			
C3	H1	S2	F2	P1	V1	R3	50.8	48.7	25.9	2216	2.9			
C3	H1	S2	F2	P1	V1	R4	60.3	62.5	28.2	2575	3.7			
C3	H1	S2	F2	P1	V1	R5	74.2	61.3	30.1	2877	3.7			
Promedios							64.0	52.6	28.6	2628	3.3			
C3	H1	S2	F2	P1	V2	R1	65.8	57.9	29.5	2503	3.6	7.3	No evaluada	134
C3	H1	S2	F2	P1	V2	R2	62.1	53.8	27.9	2721	3.4			
C3	H1	S2	F2	P1	V2	R3	76.9	58.9	27.9	3357	4.0			
C3	H1	S2	F2	P1	V2	R4	81.5	78.1	29.5	3330	4.3			
C3	H1	S2	F2	P1	V2	R5	86.3	92.7	28.7	3469	5.4			
Promedios							74.5	68.3	28.7	3076	4.1			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C3	H1	S2	F1	P2	V1	R1	72.8	74.3	36.5	2440	4.2	7.3	No evaluada	58
C3	H1	S2	F1	P2	V1	R2	67.6	43.1	41.6	2119	3.4			
C3	H1	S2	F1	P2	V1	R3	59.7	47.1	32.9	2262	3.6			
C3	H1	S2	F1	P2	V1	R4	72.9	49.8	39.4	2422	3.7			
C3	H1	S2	F1	P2	V1	R5	86.8	51.3	41.3	2348	4.2			
Promedios							72.0	53.1	38.3	2318	3.8			
C3	H1	S2	F1	P2	V2	R1	55.7	30.4	34.3	1840	2.7	7.3	No evaluada	40
C3	H1	S2	F1	P2	V2	R2	61.4	36.2	39.9	1991	2.8			
C3	H1	S2	F1	P2	V2	R3	63.2	43.0	35.1	2074	3.5			
C3	H1	S2	F1	P2	V2	R4	54.4	40.0	30.3	2206	2.8			
C3	H1	S2	F1	P2	V2	R5	68.5	48.8	34.3	2682	3.8			
Promedios							60.6	39.7	34.8	2159	3.1			
C3	H1	S2	F2	P2	V1	R1	65.7	45.7	26.9	2612	3.6	7.3	No evaluada	154
C3	H1	S2	F2	P2	V1	R2	70.6	57.2	32.3	2475	3.8			
C3	H1	S2	F2	P2	V1	R3	67.8	75.2	33.3	2163	4.1			
C3	H1	S2	F2	P2	V1	R4	87.8	77.8	39.7	2408	4.9			
C3	H1	S2	F2	P2	V1	R5	70.4	66.9	34.0	2349	4.1			
Promedios							72.5	64.6	33.2	2401	4.1			
C3	H1	S2	F2	P2	V2	R1	58.5	46.2	32.7	2482	3.1	7.3	No evaluada	152
C3	H1	S2	F2	P2	V2	R2	79.7	57.9	35.1	2636	4.1			
C3	H1	S2	F2	P2	V2	R3	78.4	72.7	35.1	2622	4.5			
C3	H1	S2	F2	P2	V2	R4	81.3	81.1	32.7	3078	4.5			
C3	H1	S2	F2	P2	V2	R5	86.5	97.1	34.3	3159	5.8			
Promedios							76.9	71.0	34.0	2795	4.4			

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C3	H2	S1	F1	P1	V1	R1	59.2	59.4	44.5	1735	3.5	11.6	51.9	508
C3	H2	S1	F1	P1	V1	R2	59.3	61.3	48.9	1332	4.0			
C3	H2	S1	F1	P1	V1	R3	63.4	54.6	48.3	1562	3.6			
C3	H2	S1	F1	P1	V1	R4	43.1	47.0	49.2	1115	2.8			
C3	H2	S1	F1	P1	V1	R5	52.2	54.2	44.8	1394	3.5			
Promedios							55.4	55.3	47.1	1428	3.5			
C3	H2	S1	F1	P1	V2	R1	65.6	99.5	34.3	2205	5.4	29.5	51.9	264
C3	H2	S1	F1	P1	V2	R2	71.6	88.2	43.9	1838	5.3			
C3	H2	S1	F1	P1	V2	R3	60.4	89.8	36.3	1867	5.0			
C3	H2	S1	F1	P1	V2	R4	69.4	101.2	41.1	2027	5.4			
C3	H2	S1	F1	P1	V2	R5	74.7	76.1	55.5	1517	4.7			
Promedios							68.3	91.0	42.2	1891	5.2			
C3	H2	S1	F2	P1	V1	R1	74.1	78.3	43.9	1957	4.7	32.7	51.9	175
C3	H2	S1	F2	P1	V1	R2	72.0	74.5	46.4	1909	4.6			
C3	H2	S1	F2	P1	V1	R3	79.4	102.2	43.2	2250	6.1			
C3	H2	S1	F2	P1	V1	R4	73.4	116.1	35.2	3071	6.0			
C3	H2	S1	F2	P1	V1	R5	75.1	116.5	31.7	2646	6.9			
Promedios							74.8	97.5	40.1	2367	5.7			
C3	H2	S1	F2	P1	V2	R1	89.5	144.7	34.7	3195	7.7	36.7	51.9	464
C3	H2	S1	F2	P1	V2	R2	97.2	167.0	38.7	3209	8.9			
C3	H2	S1	F2	P1	V2	R3	84.0	128.6	44.7	2905	6.9			
C3	H2	S1	F2	P1	V2	R4	88.5	128.4	36.7	3533	6.8			
C3	H2	S1	F2	P1	V2	R5	82.8	181.7	32.7	3007	9.2			
Promedios							88.4	150.1	37.5	3170	7.9			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C3	H2	S1	F1	P2	V1	R1	58.5	79.8	42.0	1524	4.7	33.1	44.9	265
C3	H2	S1	F1	P2	V1	R2	50.7	71.1	47.7	1172	3.9			
C3	H2	S1	F1	P2	V1	R3	51.6	66.5	40.3	1492	3.9			
C3	H2	S1	F1	P2	V1	R4	54.7	79.0	54.5	1051	3.8			
C3	H2	S1	F1	P2	V1	R5	47.7	61.5	55.0	978	3.3			
Promedios							52.6	71.6	47.9	1243	3.9			
C3	H2	S1	F1	P2	V2	R1	78.9	78.0	47.9	1880	5.4	32.0	44.9	322
C3	H2	S1	F1	P2	V2	R2	62.4	76.8	46.7	1583	4.5			
C3	H2	S1	F1	P2	V2	R3	71.9	79.3	51.1	1615	5.3			
C3	H2	S1	F1	P2	V2	R4	66.3	64.0	52.7	1561	3.9			
C3	H2	S1	F1	P2	V2	R5	74.7	77.4	55.1	1536	5.1			
Promedios							70.8	75.1	50.7	1635	4.8			
C3	H2	S1	F2	P2	V1	R1	94.9	148.5	40.0	3704	8.7	37.1	44.9	483
C3	H2	S1	F2	P2	V1	R2	78.7	132.4	34.3	2961	8.1			
C3	H2	S1	F2	P2	V1	R3	77.5	127.5	36.1	2769	7.7			
C3	H2	S1	F2	P2	V1	R4	71.5	115.9	39.7	2218	6.3			
C3	H2	S1	F2	P2	V1	R5	64.3	118.9	33.9	2493	6.7			
Promedios							77.4	128.6	36.8	2829	7.5			
C3	H2	S1	F2	P2	V2	R1	69.5	94.9	42.7	2029	5.6	38.2	44.9	270
C3	H2	S1	F2	P2	V2	R2	77.8	112.6	46.3	2155	6.2			
C3	H2	S1	F2	P2	V2	R3	64.3	93.5	45.5	1763	5.3			
C3	H2	S1	F2	P2	V2	R4	61.8	79.8	43.9	1701	4.9			
C3	H2	S1	F2	P2	V2	R5	58.4	85.9	41.9	1754	4.3			
Promedios							66.4	93.3	44.1	1880	5.3			

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C3	H2	S2	F1	P1	V1	R1	68.2	70.0	32.7	2245	5.0	36.4	16.2	216
C3	H2	S2	F1	P1	V1	R2	45.3	69.3	35.2	1478	3.3			
C3	H2	S2	F1	P1	V1	R3	36.8	43.8	29.5	1409	2.6			
C3	H2	S2	F1	P1	V1	R4	55.4	41.6	34.3	2023	3.2			
C3	H2	S2	F1	P1	V1	R5	51.9	61.2	26.8	2012	3.7			
Promedios							51.5	57.2	31.7	1833	3.6			
C3	H2	S2	F1	P1	V2	R1	55.9	23.0	29.5	2401	2.5	36.5	16.2	201
C3	H2	S2	F1	P1	V2	R2	47.5	34.2	26.3	2099	2.5			
C3	H2	S2	F1	P1	V2	R3	53.6	34.5	32.7	1982	2.6			
C3	H2	S2	F1	P1	V2	R4	54.4	47.4	29.5	1967	2.8			
C3	H2	S2	F1	P1	V2	R5	49.9	49.1	27.8	2016	3.0			
Promedios							52.3	37.6	29.2	2093	2.7			
C3	H2	S2	F2	P1	V1	R1	81.0	95.5	29.4	3400	5.7	35.6	16.2	98
C3	H2	S2	F2	P1	V1	R2	64.3	110.0	25.6	3289	5.8			
C3	H2	S2	F2	P1	V1	R3	56.1	99.5	31.3	2327	5.0			
C3	H2	S2	F2	P1	V1	R4	57.8	62.9	34.6	2199	3.8			
C3	H2	S2	F2	P1	V1	R5	62.8	35.3	29.1	2773	4.4			
Promedios							64.4	80.6	30.0	2798	4.9			
C3	H2	S2	F2	P1	V2	R1	69.3	83.2	24.7	3252	4.5	29.5	16.2	266
C3	H2	S2	F2	P1	V2	R2	57.8	80.9	27.8	2443	4.2			
C3	H2	S2	F2	P1	V2	R3	58.0	97.1	25.5	2845	4.5			
C3	H2	S2	F2	P1	V2	R4	64.4	112.9	25.5	2814	5.8			
C3	H2	S2	F2	P1	V2	R5	42.3	77.9	23.9	2068	3.7			
Promedios							58.4	90.4	25.5	2684	4.5			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C3	H2	S2	F1	P2	V1	R1	48.7	27.8	45.1	1160	2.6	20.7	12.2	221
C3	H2	S2	F1	P2	V1	R2	43.9	31.1	37.8	1294	2.4			
C3	H2	S2	F1	P2	V1	R3	47.6	29.5	41.6	1282	2.2			
C3	H2	S2	F1	P2	V1	R4	40.7	36.7	37.1	1197	2.5			
C3	H2	S2	F1	P2	V1	R5	43.7	42.8	34.5	1398	3.2			
Promedios							44.9	33.6	39.2	1266	2.6			
C3	H2	S2	F1	P2	V2	R1	44.6	13.3	51.1	909	2.1	27.6	12.2	87
C3	H2	S2	F1	P2	V2	R2	43.7	21.8	50.9	1095	2.0			
C3	H2	S2	F1	P2	V2	R3	43.6	41.0	47.9	1066	2.6			
C3	H2	S2	F1	P2	V2	R4	45.6	32.6	40.9	1357	2.5			
C3	H2	S2	F1	P2	V2	R5	45.2	28.4	39.1	1347	2.5			
Promedios							44.5	27.4	46.0	1155	2.3			
C3	H2	S2	F2	P2	V1	R1	55.5	55.5	32.3	1998	3.6	29.1	12.2	184
C3	H2	S2	F2	P2	V1	R2	57.9	65.2	34.3	1919	3.9			
C3	H2	S2	F2	P2	V1	R3	49.8	80.4	29.4	1923	3.9			
C3	H2	S2	F2	P2	V1	R4	51.0	86.7	28.8	1982	4.6			
C3	H2	S2	F2	P2	V1	R5	60.5	98.0	30.4	2344	4.9			
Promedios							54.9	77.2	31.0	2033	4.2			
C3	H2	S2	F2	P2	V2	R1	110.5	85.0	37.5	4292	6.2	26.2	12.2	129
C3	H2	S2	F2	P2	V2	R2	61.7	106.7	43.1	1629	5.1			
C3	H2	S2	F2	P2	V2	R3	56.8	84.7	33.5	1945	4.5			
C3	H2	S2	F2	P2	V2	R4	78.0	85.1	40.7	2713	5.4			
C3	H2	S2	F2	P2	V2	R5	60.7	100.5	35.8	2245	5.2			
Promedios							73.5	92.4	38.1	2565	5.3			

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C4	H1	S1	F1	P1	V1	R1	88.0	69.4	35.2	2152	4.6	7.3	No evaluada	112
C4	H1	S1	F1	P1	V1	R2	97.7	85.5	39.6	2664	5.4			
C4	H1	S1	F1	P1	V1	R3	63.5	119.0	63.5	2022	5.7			
C4	H1	S1	F1	P1	V1	R4	83.1	124.4	38.1	2335	6.3			
C4	H1	S1	F1	P1	V1	R5	95.0	157.3	37.1	2850	6.0			
Promedios							85.5	111.1	42.7	2405	5.6			
C4	H1	S1	F1	P1	V2	R1	104.9	70.2	37.5	3713	4.6	7.3	No evaluada	145
C4	H1	S1	F1	P1	V2	R2	62.4	70.6	37.8	3038	4.3			
C4	H1	S1	F1	P1	V2	R3	105.2	91.5	41.5	3220	5.4			
C4	H1	S1	F1	P1	V2	R4	100.3	135.6	44.7	4227	6.1			
C4	H1	S1	F1	P1	V2	R5	115.1	156.9	36.8	4425	7.9			
Promedios							97.6	105.0	39.7	3725	5.6			
C4	H1	S1	F2	P1	V1	R1	148.8	203.0	35.2	4942	11.4	7.3	No evaluada	3892
C4	H1	S1	F2	P1	V1	R2	133.4	209.5	32.0	5674	11.3			
C4	H1	S1	F2	P1	V1	R3	142.9	161.5	45.5	4231	10.3			
C4	H1	S1	F2	P1	V1	R4	124.2	221.7	34.6	4180	9.8			
C4	H1	S1	F2	P1	V1	R5	140.0	222.7	49.3	4933	12.3			
Promedios							137.9	203.7	39.3	4792	11.0			
C4	H1	S1	F2	P1	V2	R1	129.3	193.9	34.3	4431	10.4	7.3	No evaluada	299
C4	H1	S1	F2	P1	V2	R2	110.2	198.2	31.1	4000	10.5			
C4	H1	S1	F2	P1	V2	R3	141.5	235.0	34.3	4580	12.2			
C4	H1	S1	F2	P1	V2	R4	131.9	200.0	31.1	5016	11.9			
C4	H1	S1	F2	P1	V2	R5	105.0	142.9	32.7	3868	8.4			
Promedios							123.6	194.0	32.7	4379	10.7			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C4	H1	S1	F1	P2	V1	R1	93.9	109.6	45.5	2518	6.4	7.3	No evaluada	264
C4	H1	S1	F1	P2	V1	R2	66.5	104.9	38.7	2024	6.5			
C4	H1	S1	F1	P2	V1	R3	105.5	106.7	45.5	4525	6.8			
C4	H1	S1	F1	P2	V1	R4	141.8	161.5	45.5	4278	8.7			
C4	H1	S1	F1	P2	V1	R5	100.1	153.5	44.8	3080	6.8			
Promedios							101.6	127.2	44.0	3285	7.0			
C4	H1	S1	F1	P2	V2	R1	109.8	120.5	43.1	2931	7.0	7.3	No evaluada	79
C4	H1	S1	F1	P2	V2	R2	115.3	118.4	43.8	3380	6.9			
C4	H1	S1	F1	P2	V2	R3	175.0	130.0	45.5	4382	8.8			
C4	H1	S1	F1	P2	V2	R4	108.2	112.3	38.3	3443	6.8			
C4	H1	S1	F1	P2	V2	R5	123.7	173.6	52.7	3259	8.8			
Promedios							126.4	131.0	44.7	3479	7.7			
C4	H1	S1	F2	P2	V1	R1	105.2	120.5	37.1	6372	8.2	7.3	No evaluada	147
C4	H1	S1	F2	P2	V1	R2	131.5	122.7	40.6	4268	9.1			
C4	H1	S1	F2	P2	V1	R3	100.1	175.0	44.5	3826	9.6			
C4	H1	S1	F2	P2	V1	R4	174.5	177.7	38.1	5998	11.5			
C4	H1	S1	F2	P2	V1	R5	207.0	224.0	48.6	4832	13.1			
Promedios							143.7	164.0	41.8	5059	10.3			
C4	H1	S1	F2	P2	V2	R1	192.0	178.3	31.9	6546	12.1	7.3	No evaluada	259
C4	H1	S1	F2	P2	V2	R2	202.0	164.6	35.1	5862	9.3			
C4	H1	S1	F2	P2	V2	R3	240.9	228.5	46.3	9043	15.2			
C4	H1	S1	F2	P2	V2	R4	189.9	192.2	45.5	5407	10.6			
C4	H1	S1	F2	P2	V2	R5	108.0	220.1	39.8	3968	9.9			
Promedios							186.6	196.7	39.7	6165	11.4			

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C4	H1	S2	F1	P1	V1	R1	63.2	36.9	35.5	2169	2.8	7.3	No evaluada	98
C4	H1	S2	F1	P1	V1	R2	63.3	32.3	36.2	2275	2.8			
C4	H1	S2	F1	P1	V1	R3	70.4	40.8	35.5	2426	3.1			
C4	H1	S2	F1	P1	V1	R4	62.3	52.6	34.3	2154	3.2			
C4	H1	S2	F1	P1	V1	R5	74.9	51.1	33.3	2421	3.8			
Promedios							66.8	42.7	35.0	2289	3.1			
C4	H1	S2	F1	P1	V2	R1	70.2	27.3	35.8	2228	2.8	7.3	No evaluada	106
C4	H1	S2	F1	P1	V2	R2	100.5	36.3	65.9	1868	4.4			
C4	H1	S2	F1	P1	V2	R3	63.8	36.4	34.0	2178	2.8			
C4	H1	S2	F1	P1	V2	R4	54.7	45.7	32.9	2118	3.0			
C4	H1	S2	F1	P1	V2	R5	121.2	54.5	51.8	3425	5.2			
Promedios							82.1	40.0	44.1	2363	3.6			
C4	H1	S2	F2	P1	V1	R1	115.5	96.1	33.9	3923	3.8	7.3	No evaluada	118
C4	H1	S2	F2	P1	V1	R2	136.1	108.8	41.6	3862	7.2			
C4	H1	S2	F2	P1	V1	R3	113.0	127.8	31.4	4634	7.1			
C4	H1	S2	F2	P1	V1	R4	145.0	130.0	40.6	4009	8.2			
C4	H1	S2	F2	P1	V1	R5	113.0	125.0	33.3	3861	7.2			
Promedios							124.5	117.5	36.2	4058	6.7			
C4	H1	S2	F2	P1	V2	R1	91.2	48.2	35.8	3962	3.5	7.3	No evaluada	53
C4	H1	S2	F2	P1	V2	R2	99.2	64.8	29.8	4238	4.3			
C4	H1	S2	F2	P1	V2	R3	96.6	65.3	34.9	3532	4.5			
C4	H1	S2	F2	P1	V2	R4	92.9	80.2	31.9	3218	4.7			
C4	H1	S2	F2	P1	V2	R5	90.7	77.9	30.3	3542	4.9			
Promedios							94.1	67.3	32.5	3698	4.4			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C4	H1	S2	F1	P2	V1	R1	72.1	30.8	45.5	1701	3.1	7.3	No evaluada	62
C4	H1	S2	F1	P2	V1	R2	59.4	36.4	36.5	1754	2.8			
C4	H1	S2	F1	P2	V1	R3	70.1	45.2	41.0	1784	3.3			
C4	H1	S2	F1	P2	V1	R4	68.2	46.9	39.7	2306	3.3			
C4	H1	S2	F1	P2	V1	R5	52.1	53.8	36.5	1591	3.3			
Promedios							64.4	42.6	39.8	1827	3.2			
C4	H1	S2	F1	P2	V2	R1	57.3	24.2	35.1	1683	2.2	7.3	No evaluada	75
C4	H1	S2	F1	P2	V2	R2	56.3	31.3	35.1	1778	2.4			
C4	H1	S2	F1	P2	V2	R3	61.7	31.9	35.1	1748	2.5			
C4	H1	S2	F1	P2	V2	R4	56.3	34.6	34.3	1802	2.4			
C4	H1	S2	F1	P2	V2	R5	69.8	39.3	43.2	2490	2.5			
Promedios							60.3	32.3	36.6	1900	2.4			
C4	H1	S2	F2	P2	V1	R1	169.0	153.0	54.0	2433	9.1	7.3	No evaluada	252
C4	H1	S2	F2	P2	V1	R2	123.0	89.9	40.3	3261	6.5			
C4	H1	S2	F2	P2	V1	R3	123.5	92.8	40.0	3448	7.1			
C4	H1	S2	F2	P2	V1	R4	125.5	105.7	44.9	2963	7.6			
C4	H1	S2	F2	P2	V1	R5	101.5	111.4	31.1	3252	6.6			
Promedios							128.5	110.6	42.1	3071	7.4			
C4	H1	S2	F2	P2	V2	R1	94.0	75.8	34.9	3022	4.9	7.3	No evaluada	109
C4	H1	S2	F2	P2	V2	R2	105.3	78.5	34.1	3098	5.2			
C4	H1	S2	F2	P2	V2	R3	84.2	98.6	35.1	2549	5.0			
C4	H1	S2	F2	P2	V2	R4	87.5	106.0	35.8	2970	5.8			
C4	H1	S2	F2	P2	V2	R5	135.0	119.0	47.8	2847	7.1			
Promedios							101.2	95.6	37.5	2897	5.6			

Continúa tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C4	H2	S1	F1	P1	V1	R1	64.3	50.2	50.9	1428	3.3	31.6	54.5	249
C4	H2	S1	F1	P1	V1	R2	85.7	62.0	51.8	1818	4.1			
C4	H2	S1	F1	P1	V1	R3	67.4	65.6	43.5	1775	4.0			
C4	H2	S1	F1	P1	V1	R4	62.8	68.8	43.2	1723	4.0			
C4	H2	S1	F1	P1	V1	R5	59.1	71.8	50.2	1441	3.7			
Promedios							67.9	63.7	47.9	1637	3.8			
C4	H2	S1	F1	P1	V2	R1	70.9	93.4	38.7	1948	5.2	31.3	54.5	274
C4	H2	S1	F1	P1	V2	R2	65.8	96.3	40.7	1806	5.0			
C4	H2	S1	F1	P1	V2	R3	77.5	94.6	40.3	2228	5.6			
C4	H2	S1	F1	P1	V2	R4	83.8	87.3	49.9	2003	5.1			
C4	H2	S1	F1	P1	V2	R5	56.7	77.5	41.4	1530	3.9			
Promedios							70.9	89.8	42.2	1903	5.0			
C4	H2	S1	F2	P1	V1	R1	87.2	124.7	36.2	2958	6.5	31.6	54.5	286
C4	H2	S1	F2	P1	V1	R2	74.0	78.7	37.8	2376	5.2			
C4	H2	S1	F2	P1	V1	R3	81.8	86.4	38.4	2456	5.6			
C4	H2	S1	F2	P1	V1	R4	77.8	81.9	39.4	2509	5.4			
C4	H2	S1	F2	P1	V1	R5	91.7	97.7	36.5	2660	6.4			
Promedios							82.5	93.9	37.7	2592	5.8			
C4	H2	S1	F2	P1	V2	R1	92.9	156.4	38.7	3351	8.5	27.6	54.5	263
C4	H2	S1	F2	P1	V2	R2	99.1	153.6	35.9	3161	8.6			
C4	H2	S1	F2	P1	V2	R3	86.0	175.3	32.3	3168	8.6			
C4	H2	S1	F2	P1	V2	R4	80.5	149.4	36.7	2737	7.5			
C4	H2	S1	F2	P1	V2	R5	91.1	166.8	35.9	3209	8.8			
Promedios							89.9	160.3	35.9	3125	8.4			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plástico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C4	H2	S1	F1	P2	V1	R1	63.3	90.8	43.8	1583	4.8	29.5	50.5	228
C4	H2	S1	F1	P2	V1	R2	66.6	90.3	55.4	1796	4.5			
C4	H2	S1	F1	P2	V1	R3	46.4	45.4	44.5	1237	2.5			
C4	H2	S1	F1	P2	V1	R4	49.0	55.7	43.5	1354	3.1			
C4	H2	S1	F1	P2	V1	R5	47.8	53.2	46.1	1280	3.1			
Promedios							54.6	67.1	46.7	1450	3.6			
C4	H2	S1	F1	P2	V2	R1	68.4	96.9	47.5	1680	5.4	36.7	50.5	236
C4	H2	S1	F1	P2	V2	R2	66.9	72.1	45.1	1609	4.5			
C4	H2	S1	F1	P2	V2	R3	60.0	78.0	42.3	1740	4.3			
C4	H2	S1	F1	P2	V2	R4	63.4	98.7	50.7	1364	4.2			
C4	H2	S1	F1	P2	V2	R5	65.5	59.6	57.1	1372	4.1			
Promedios							64.8	81.1	48.5	1553	4.5			
C4	H2	S1	F2	P2	V1	R1	71.1	89.7	33.3	2471	6.1	42.2	50.5	302
C4	H2	S1	F2	P2	V1	R2	80.7	100.7	39.4	2248	6.9			
C4	H2	S1	F2	P2	V1	R3	65.0	137.0	32.0	2324	6.6			
C4	H2	S1	F2	P2	V1	R4	72.7	89.2	39.4	2146	5.6			
C4	H2	S1	F2	P2	V1	R5	67.5	92.5	46.4	1966	5.1			
Promedios							71.4	101.8	38.1	2231	6.1			
C4	H2	S1	F2	P2	V2	R1	84.4	116.8	37.5	2722	6.8	40.5	50.5	354
C4	H2	S1	F2	P2	V2	R2	95.0	130.1	53.1	2118	7.8			
C4	H2	S1	F2	P2	V2	R3	109.0	153.7	54.3	2605	9.2			
C4	H2	S1	F2	P2	V2	R4	92.5	175.6	35.9	2987	10.1			
C4	H2	S1	F2	P2	V2	R5	101.0	133.1	53.9	2461	8.2			
Promedios							96.4	141.9	46.9	2579	8.4			

Termina tabla 3...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plastico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C4	H2	S2	F1	P1	V1	R1	68.9	46.1	34.3	2256	3.4	36.4	18.8	401
C4	H2	S2	F1	P1	V1	R2	66.6	45.5	34.9	2097	3.4			
C4	H2	S2	F1	P1	V1	R3	60.2	42.0	35.5	1780	3.1			
C4	H2	S2	F1	P1	V1	R4	62.5	47.2	33.9	2021	3.2			
C4	H2	S2	F1	P1	V1	R5	75.8	52.3	39.1	1958	3.8			
Promedios							66.8	46.6	35.5	2022	3.4			
C4	H2	S2	F1	P1	V2	R1	61.5	39.9	33.5	2099	3.1	28.0	18.8	82
C4	H2	S2	F1	P1	V2	R2	60.0	45.9	35.1	2028	3.0			
C4	H2	S2	F1	P1	V2	R3	76.2	48.5	38.3	2501	3.6			
C4	H2	S2	F1	P1	V2	R4	54.7	67.9	97.1	2106	3.9			
C4	H2	S2	F1	P1	V2	R5	65.9	72.8	31.9	2489	4.1			
Promedios							63.7	55.0	47.2	2245	3.5			
C4	H2	S2	F2	P1	V1	R1	107.8	101.2	42.5	3275	5.7	25.5	18.8	53
C4	H2	S2	F2	P1	V1	R2	64.5	97.0	28.8	2622	5.5			
C4	H2	S2	F2	P1	V1	R3	83.0	93.4	33.3	2693	5.4			
C4	H2	S2	F2	P1	V1	R4	77.6	89.3	35.2	2325	5.3			
C4	H2	S2	F2	P1	V1	R5	115.2	127.3	40.9	3224	7.3			
Promedios							89.6	101.6	36.1	2828	5.8			
C4	H2	S2	F2	P1	V2	R1	104.4	90.2	29.5	4813	5.7	24.4	18.8	238
C4	H2	S2	F2	P1	V2	R2	102.3	85.2	35.9	3281	5.4			
C4	H2	S2	F2	P1	V2	R3	88.2	81.7	31.1	3721	4.7			
C4	H2	S2	F2	P1	V2	R4	86.0	80.5	33.5	3163	4.7			
C4	H2	S2	F2	P1	V2	R5	82.8	88.1	30.3	3064	5.5			
Promedios							92.7	85.1	32.1	3608	5.2			

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación kPa	Plastico	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima en el plástico (N)	Fuerza Máxima en el suelo (N)	Punto de ruptura (mm)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % Gravimétrico Sensor digital	Humedad % Gravimétrico Método gravimétrico	Compactación kPa
C4	H2	S2	F1	P2	V1	R1	40.2	41.9	44.5	921	2.4	23.9	11.7	103
C4	H2	S2	F1	P2	V1	R2	59.3	39.2	67.8	1118	3.4			
C4	H2	S2	F1	P2	V1	R3	50.3	91.9	38.1	1811	6.4			
C4	H2	S2	F1	P2	V1	R4	50.2	61.4	43.9	1289	3.2			
C4	H2	S2	F1	P2	V1	R5	46.8	64.4	38.4	1592	3.2			
Promedios							49.4	59.8	46.5	1346	3.7			
C4	H2	S2	F1	P2	V2	R1	45.4	24.6	45.4	1106	2.0	18.0	11.7	43
C4	H2	S2	F1	P2	V2	R2	60.8	24.1	49.5	1302	3.6			
C4	H2	S2	F1	P2	V2	R3	55.9	40.5	47.1	1329	2.9			
C4	H2	S2	F1	P2	V2	R4	59.6	45.9	40.9	1740	3.1			
C4	H2	S2	F1	P2	V2	R5	51.9	26.6	39.9	1364	2.4			
Promedios							54.7	32.3	44.6	1368	2.8			
C4	H2	S2	F2	P2	V1	R1	47.4	75.9	26.9	2159	3.9	28.0	11.7	308
C4	H2	S2	F2	P2	V1	R2	79.6	181.7	30.1	2625	8.3			
C4	H2	S2	F2	P2	V1	R3	58.9	104.9	32.3	2013	4.3			
C4	H2	S2	F2	P2	V1	R4	59.7	112.5	35.5	2045	4.6			
C4	H2	S2	F2	P2	V1	R5	68.5	179.8	34.3	2119	7.2			
Promedios							62.8	131.0	31.8	2192	5.7			
C4	H2	S2	F2	P2	V2	R1	87.9	88.5	30.3	3840	6.1	33.5	11.7	192
C4	H2	S2	F2	P2	V2	R2	75.5	131.0	29.5	2422	6.5			
C4	H2	S2	F2	P2	V2	R3	93.0	127.0	34.3	2485	7.8			
C4	H2	S2	F2	P2	V2	R4	64.3	67.1	35.1	2170	4.0			
C4	H2	S2	F2	P2	V2	R5	75.4	103.4	33.5	2534	5.1			
Promedios							79.2	103.4	32.5	2690	5.9			

A continuación se muestran las gráficas correspondientes a los ensayos de corte de plástico con cuchilla en diferentes suelos, humedades, compactaciones y velocidades para las diferentes combinaciones de:

Plástico 1 (P1), 0.030mm de grosor

Plástico 2 (P2), 0.023mm de grosor

Cuchillas (CX)

- C1 Borde cortante recto (línea azul oscuro)
- C2 Borde cortante cuchilla "V" (línea rosa)
- C3 Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero (línea amarilla)
- C4 Borde cortante con dientes en forma de triángulo isósceles (línea azul claro)

S1, Suelo franco – arcilloso

S2, Suelo franco – arenoso

H1, Humedad a punto de marchitamiento permanente (PMP)

H2, Humedad a capacidad de campo (CC)

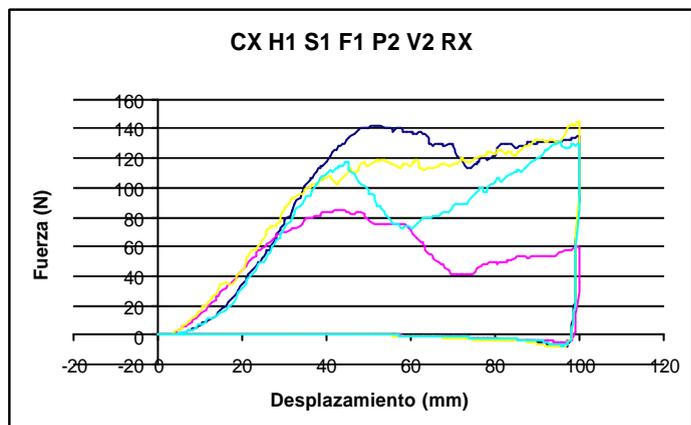
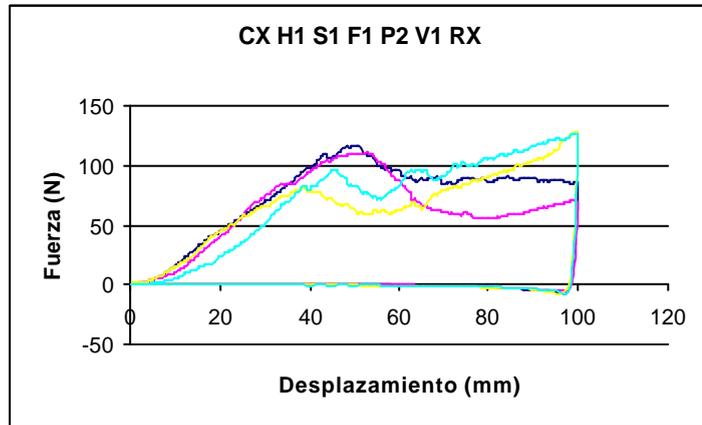
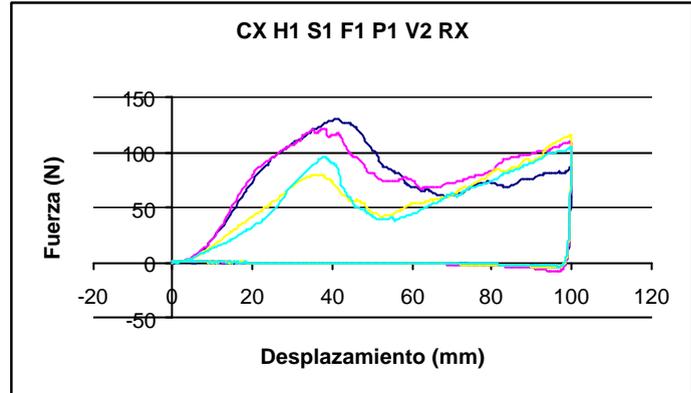
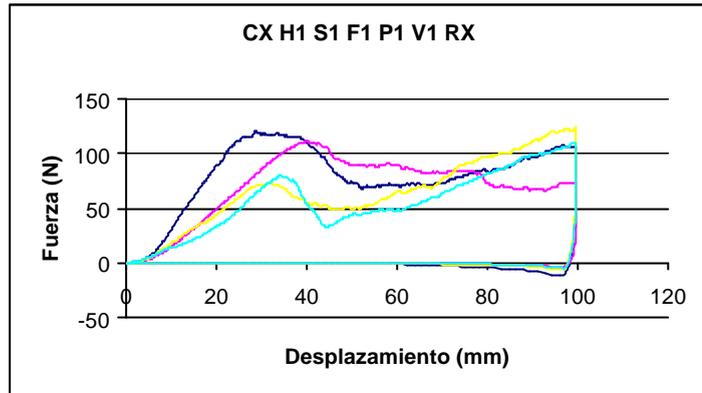
F1, Compactación por propio peso del suelo

F2, Compactación forzada

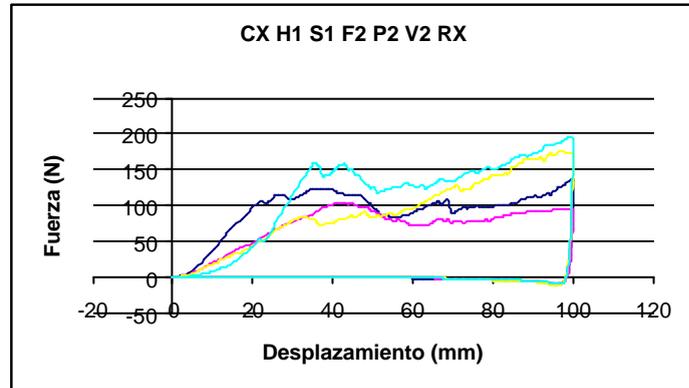
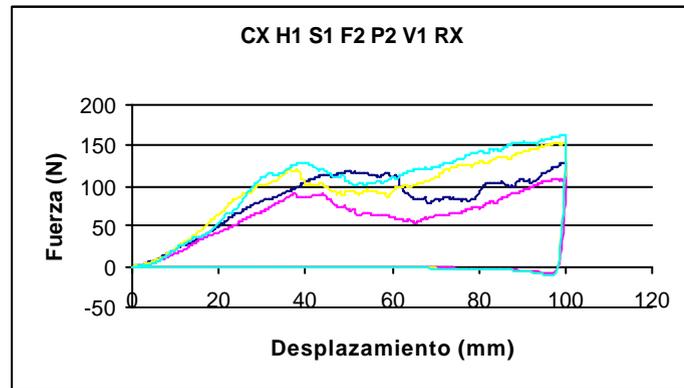
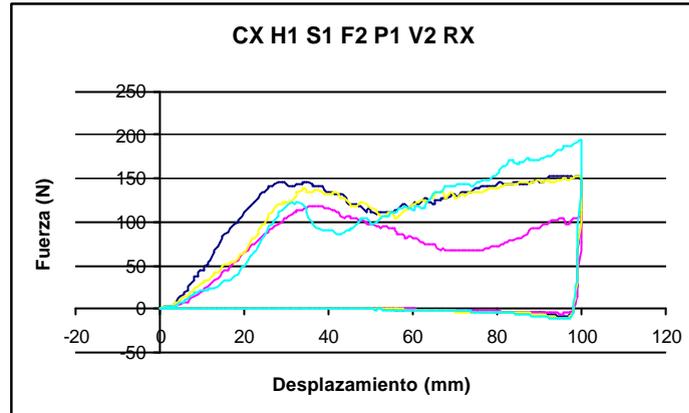
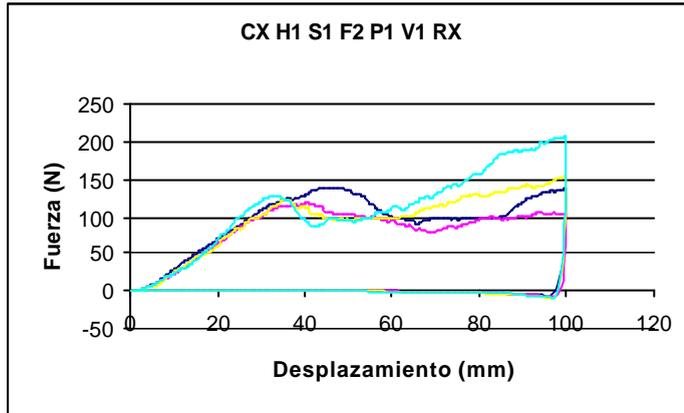
Velocidad 1 (V1) 1mm/s

Velocidad 2 (V2) 10mm/s

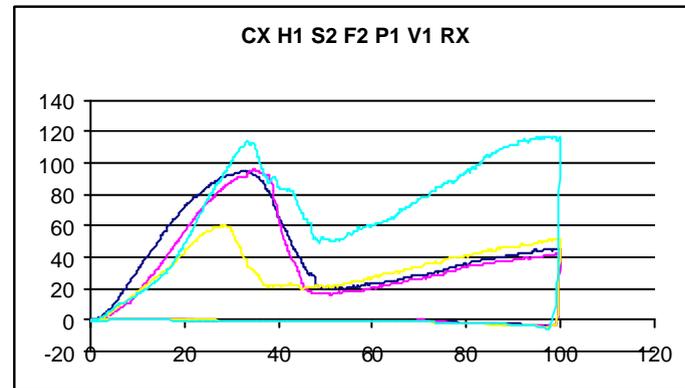
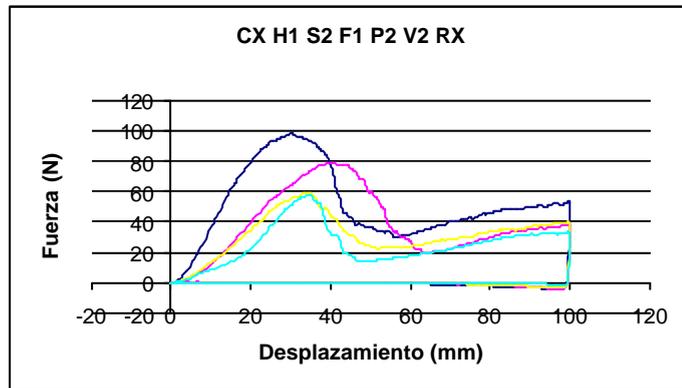
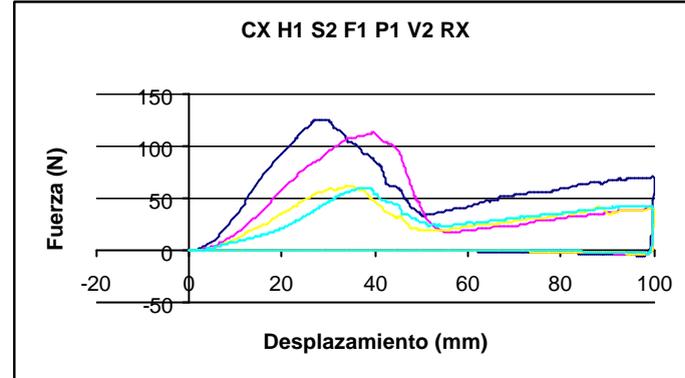
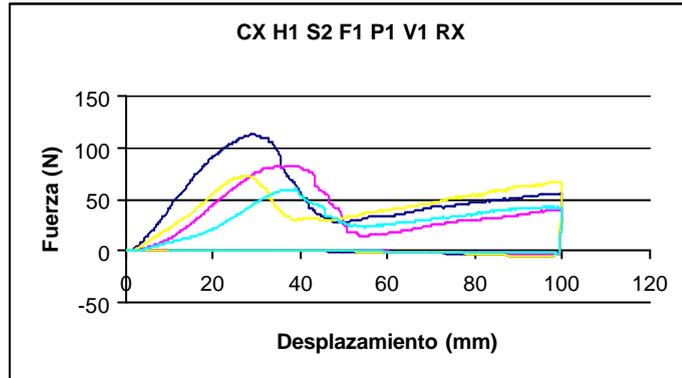
Repetición (RX) Representa el promedio de los 5 ensayos realizados para esa combinación.



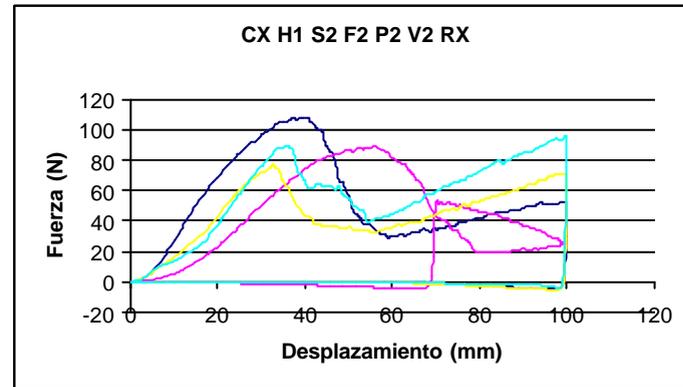
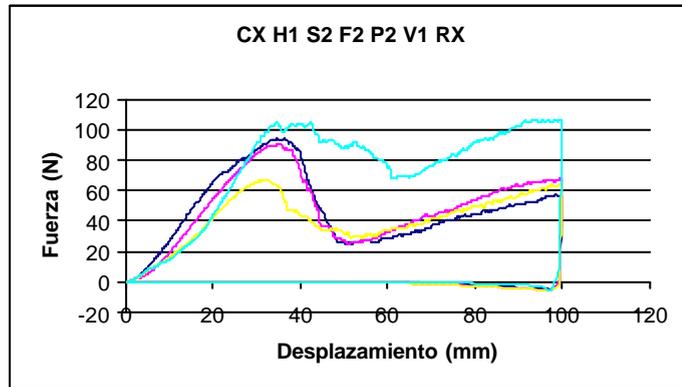
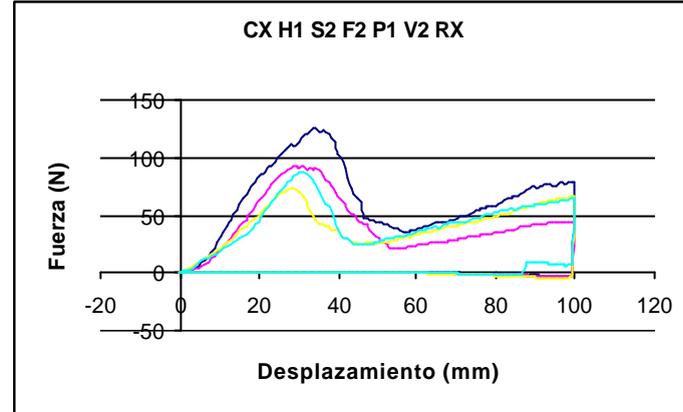
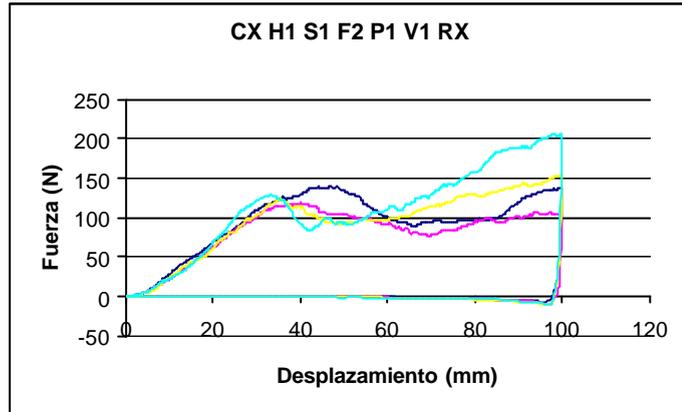
Continúan gráficas...



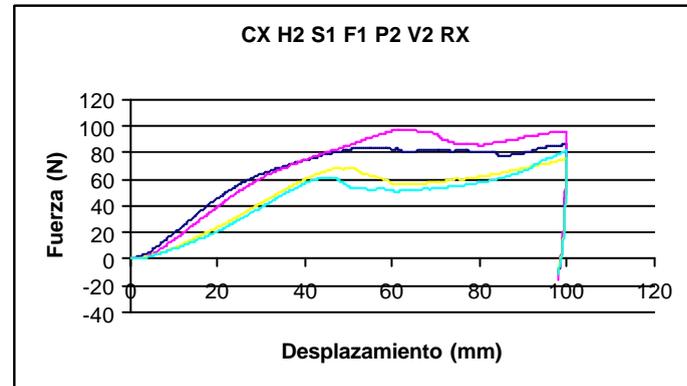
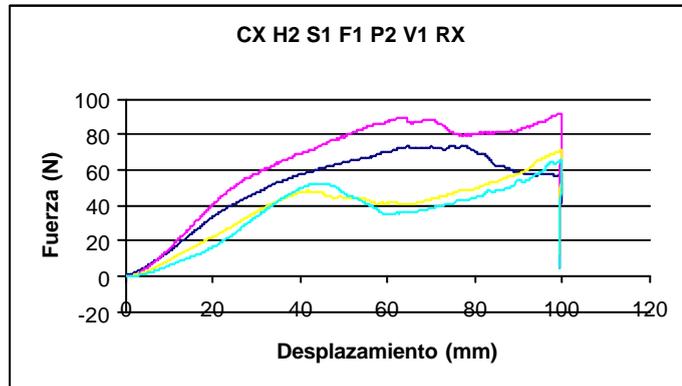
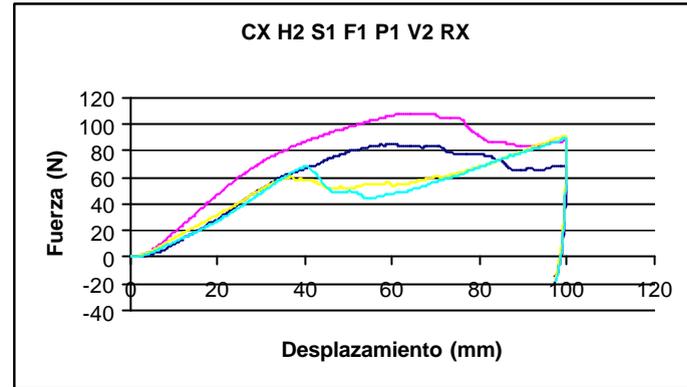
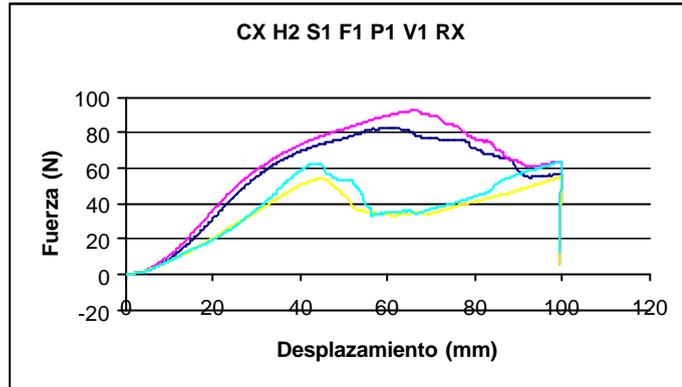
Continúan gráficas...



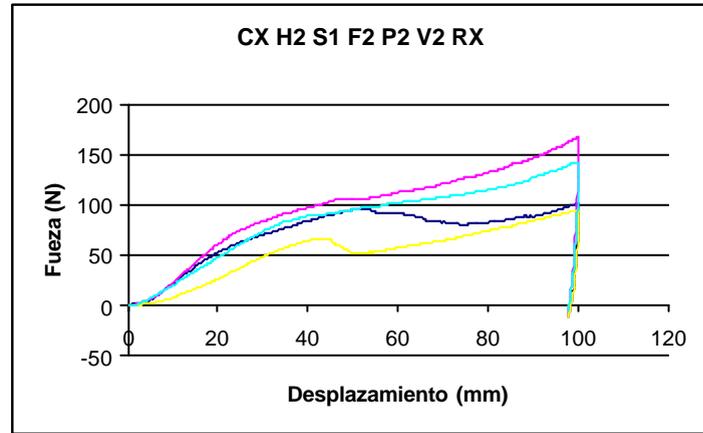
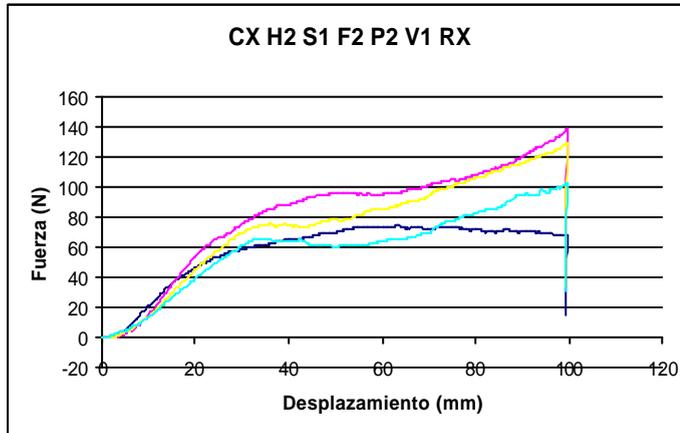
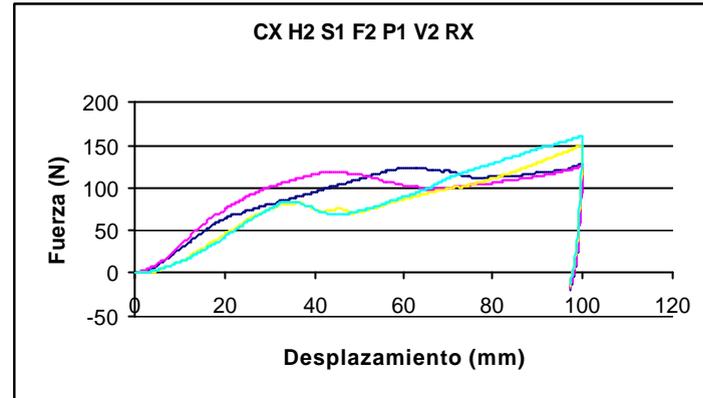
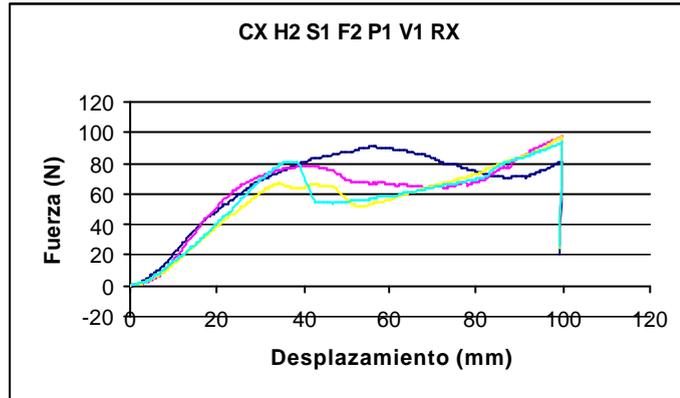
Continúan gráficas...



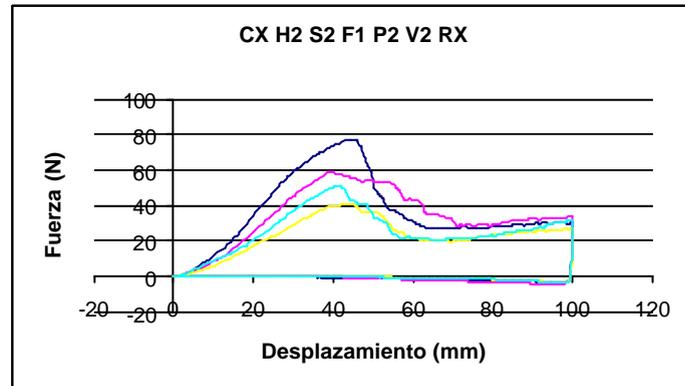
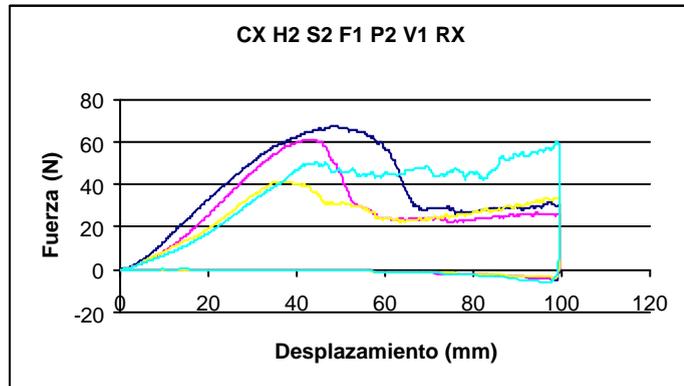
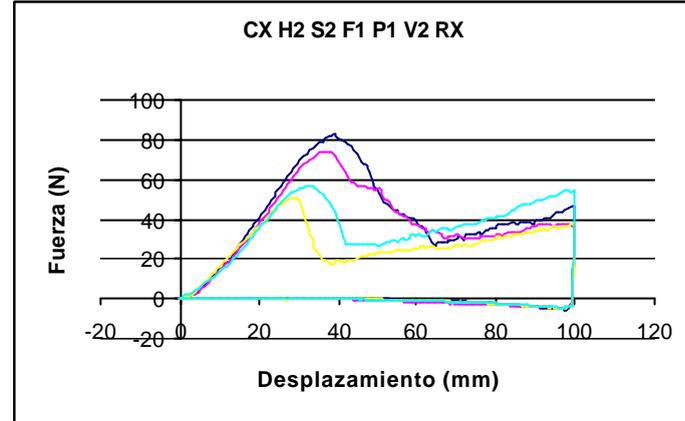
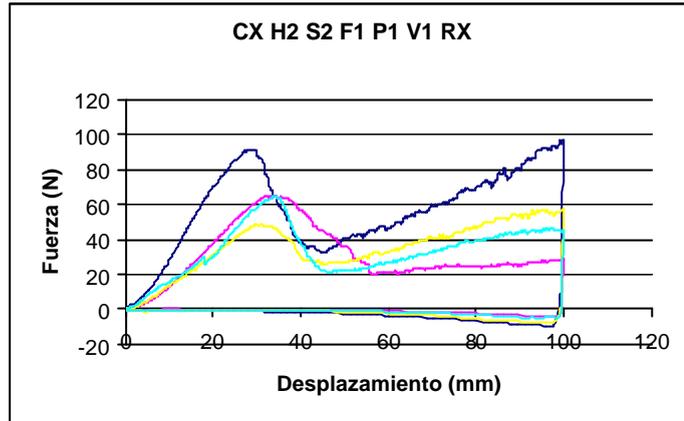
Continúan gráficas...



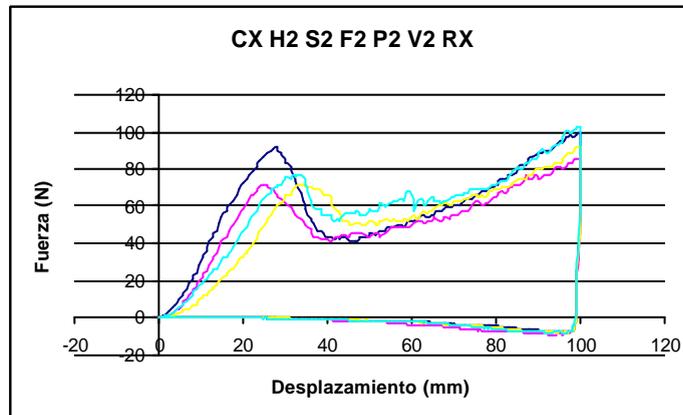
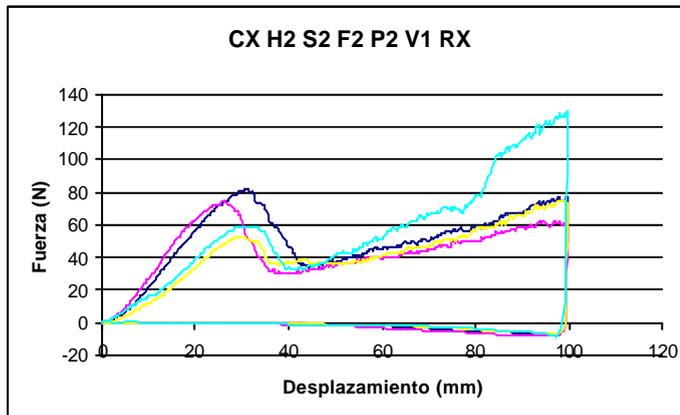
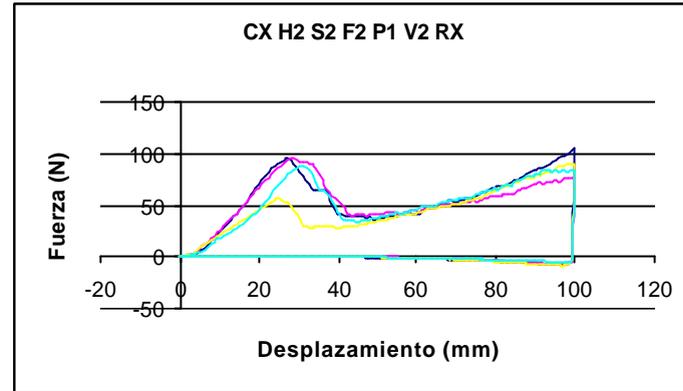
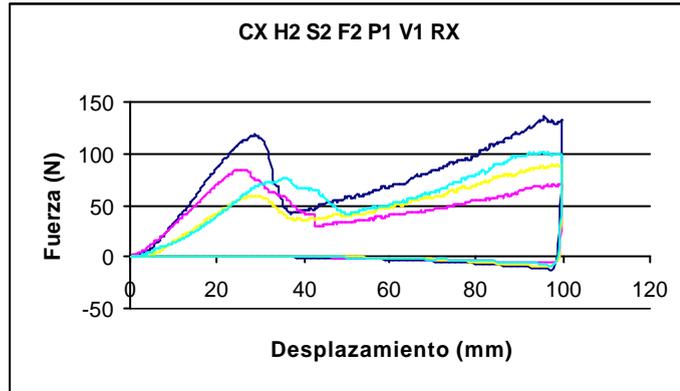
Continúan gráficas...



Continúan gráficas...



Terminan gráficas...



Apéndice II

APÉNDICE II. ENSAYOS DE CORTE DE PLÁSTICO CON CUCHILLA SOBRE SUELO EN TEXTURÓMETRO

Evaluación de compactación del suelo para los ensayos de corte de plástico con cuchilla sobre suelo en texturómetro para las combinaciones de las variables:

- S1, Suelo franco – arcilloso
- S2, Suelo franco – arenoso
- H1, Humedad a punto de marchitamiento permanente (PMP)
- H2, Humedad a capacidad de campo (CC)
- F1, Compactación por propio peso del suelo
- F2, Compactación forzada

Suelo	Humedad	Compactación	0-1.5 cm	1.6-3.0 cm	3.1-4.5 cm	4.6-6.0 cm	6.1-7.5 cm	7.6-9.0 cm	9.1-10.5 cm	10.6-12.0 cm
			S1	H1	F1	84	120	151	177	200
S1	H1	F2	137	165	203	239	278	290	286	380
S1	H2	F1	178	212	236	261	287	301	305	361
S1	H2	F2	238	250	278	291	325	338	376	430
S2	H1	F1	77	91	107	135	153	143	143	182
S2	H1	F2	68	86	103	119	135	148	158	192
S2	H2	F1	108	127	148	142	144	138	145	178
S2	H2	F2	140	196	215	250	282	290	296	348

Mínimo kPa	Máximo kPa	Promedio kPa
84	281	182
137	380	247
178	361	268
238	430	316
77	182	129
68	192	126
108	178	141
140	348	252

Evaluación de compactación del suelo para los ensayos de corte de suelo con cuchilla en texturómetro.

Suelo	Humedad	Compactación									Mínimo kPa	Máximo kPa	Promedio kPa
			0-1.5 cm	1.6-3.0 cm	3.1-4.5 cm	4.6-6.0 cm	6.1-7.5 cm	7.6-9.0 cm	9.1-10.5 cm	10.6-12.0 cm			
S1	H1	F1	103	111	148	153	156	180	219	418	103	418	186
S1	H1	F2	238	341	445	571	621	585	569	708	238	708	510
S1	H2	F1	153	184	199	214	232	245	271	371	153	371	233
S1	H2	F2	265	287	288	267	279	294	309	339	265	339	291
S2	H1	F1	64	93	120	157	202	239	269	405	64	405	194
S2	H1	F2	86	145	213	283	417	522	543	690	86	690	362
S2	H2	F1	61	103	145	183	243	327	440	603	61	603	263
S2	H2	F2	119	192	251	304	374	422	487	590	119	590	343

Evaluación de compactación del suelo para los ensayos de corte de plástico con cuchilla sobre suelo en caída libre.

Suelo	Humedad	Compactación									Mínimo kPa	Máximo kPa	Promedio kPa
			0-1.5 cm	1.6-3.0 cm	3.1-4.5 cm	4.6-6.0 cm	6.1-7.5 cm	7.6-9.0 cm	9.1-10.5 cm	10.6-12.0 cm			
S1	H1	F1	96	123	143	151	164	174	197	252	96	252	162
S1	H1	F2	151	200	239	292	374	491	672	932	151	932	419
S1	H2	F1	279	295	313	326	334	313	339	373	279	373	322
S1	H2	F2	388	448	492	530	522	530	534	492	388	534	492
S2	H1	F1	56	72	85	91	98	107	124	174	56	174	101
S2	H1	F2	150	253	371	545	786	983	1091	1197	150	1197	672
S2	H2	F1	78	94	108	127	149	151	140	158	78	158	126
S2	H2	F2	145	178	198	228	222	232	256	321	145	321	223

Evaluación de compactación del suelo para los ensayos de corte de suelo con cuchilla en caída libre.

Suelo	Humedad	Compactación	0-1.5 cm	1.6-3.0 cm	3.1-4.5 cm	4.6-6.0 cm	6.1-7.5 cm	7.6-9.0 cm	9.1-10.5 cm	10.6-12.0 cm	Mínimo kPa	Máximo kPa	Promedio kPa
			S1	H1	F1	165	208	250	288	360	446	486	579
S1	H1	F2	167	259	346	462	559	699	870	1056	167	1056	552
S1	H2	F1	164	198	206	217	206	191	191	376	164	376	218
S2	H1	F1	71	93	96	107	118	133	160	210	71	210	124
S2	H1	F2	126	178	184	208	232	264	299	357	126	357	231
S2	H2	F1	38	55	49	49	58	75	116	213	38	213	81
S2	H2	F2	145	167	196	225	278	343	422	627	145	627	300

Apéndice III

APÉNDICE III. ENSAYOS DE CORTE DE SUELO CON CUCHILLA EN TEXTURÓMETRO

En la tabla 1 se muestra el resumen promediado de los resultados de los ensayos de corte de suelo con cuchilla en texturómetro para diferentes suelos, humedades, compactaciones y velocidades de las diferentes combinaciones de:

Plástico 1 (P1), 0.030mm de grosor

Plástico 2 (P2), 0.023mm de grosor

C1 Borde cortante recto

C2 Borde cortante cuchilla "V"

C3 Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero

C4 Borde cortante con dientes en forma de triángulo isósceles

S1, Suelo franco – arcilloso

S2, Suelo franco – arenoso

H1, Humedad a punto de marchitamiento permanente (PMP)

H2, Humedad a capacidad de campo (CC)

F1, Compactación por propio peso del suelo

F2, Compactación forzada

Velocidad 1 (V1) 1mm/s

Velocidad 2 (V2) 10mm/s

Repetición (RX) Representa el promedio de los 5 ensayos realizados para esa combinación.

En la tabla 2 se muestran los resultados completos para los mismos ensayos.

Tabla 1. Resumen de los ensayos de corte de suelo con cuchilla en texturómetro.

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Fuerza máxima (N)	Energía (J)
C1	H1	S1	F1	V1	132	5.1
C1	H1	S1	F1	V2	141	6.5
C1	H1	S1	F2	V1	166	7.6
C1	H1	S1	F2	V2	238	9.0
C2	H1	S1	F1	V1	127	5.2
C2	H1	S1	F1	V2	134	4.8
C2	H1	S1	F2	V1	202	6.7
C2	H1	S1	F2	V2	249	6.8
C3	H1	S1	F1	V1	217	8.5
C3	H1	S1	F1	V2	136	6.7
C3	H1	S1	F2	V1	194	9.0
C3	H1	S1	F2	V2	201	8.5
C4	H1	S1	F1	V1	197	8.3
C4	H1	S1	F1	V2	146	7.2
C4	H1	S1	F2	V1	171	6.7
C4	H1	S1	F2	V2	187	7.2

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)
C1	H1	S2	F1	V1	R1	53.9	542	2.6
C1	H1	S2	F1	V2	R1	56.8	580	2.8
C1	H1	S2	F2	V1	R1	117.8	1193	4.7
C1	H1	S2	F2	V2	R1	158.8	1598	5.6
C2	H1	S2	F1	V1	R1	62.3	618	2.6
C2	H1	S2	F1	V2	R1	48.9	492	2.1
C2	H1	S2	F2	V1	R1	79.8	809	3.3
C2	H1	S2	F2	V2	R1	124.2	1052	4.8
C3	H1	S2	F1	V1	R1	163.4	1646	5.4
C3	H1	S2	F1	V2	R1	71.0	715	2.7
C3	H1	S2	F2	V1	R1	144.4	1454	5.2
C3	H1	S2	F2	V2	R1	199.6	2004	6.3
C4	H1	S2	F1	V1	R1	57.1	578	2.9
C4	H1	S2	F1	V2	R1	130.2	1312	4.3
C4	H1	S2	F2	V1	R1	189.0	1903	6.2
C4	H1	S2	F2	V2	R1	230.4	2317	7.0

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)
C1	H2	S1	F1	V1	86	877	3.6
C1	H2	S1	F1	V2	68	677	3.0
C1	H2	S1	F2	V1	69	685	4.3
C1	H2	S1	F2	V2	203	2052	7.6
C2	H2	S1	F1	V1	79	796	3.6
C2	H2	S1	F1	V2	87	725	3.4
C2	H2	S1	F2	V1	138	1379	7.5
C2	H2	S1	F2	V2	202	2005	10.4
C3	H2	S1	F1	V1	95	941	4.5
C3	H2	S1	F1	V2	110	1081	4.5
C3	H2	S1	F2	V1	99	996	4.5
C3	H2	S1	F2	V2	171	1696	8.0
C4	H2	S1	F1	V1	51	508	2.3
C4	H2	S1	F1	V2	100	997	4.4
C4	H2	S1	F2	V1	130	1241	6.7
C4	H2	S1	F2	V2	157	1573	9.2

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Fuerza máxima (N)	Energía (J)
C1	H2	S2	F1	V1	32	1.4
C1	H2	S2	F1	V2	50	2.0
C1	H2	S2	F2	V1	110	4.4
C1	H2	S2	F2	V2	102	4.3
C2	H2	S2	F1	V1	102	3.0
C2	H2	S2	F1	V2	33	1.4
C2	H2	S2	F2	V1	242	3.2
C2	H2	S2	F2	V2	118	4.3
C3	H2	S2	F1	V1	68	1.7
C3	H2	S2	F1	V2	199	5.6
C3	H2	S2	F2	V1	184	5.4
C3	H2	S2	F2	V2	163	4.7
C4	H2	S2	F1	V1	20	1.2
C4	H2	S2	F1	V2	36	1.6
C4	H2	S2	F2	V1	72	3.6
C4	H2	S2	F2	V2	100	4.0

Tabla 2. Ensayos de corte de suelo con cuchilla en texturómetro.

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C1	H1	S1	F1	V1	R1	128.3	1282	6.3	7.2	122
C1	H1	S1	F1	V1	R2	122.6	1232	5.4		
C1	H1	S1	F1	V1	R3	155.8	1560	4.9		
C1	H1	S1	F1	V1	R4	116.0	1166	3.4		
C1	H1	S1	F1	V1	R5	137.2	1392	5.6		
Promedios						132.0	1326.4	5.1		
C1	H1	S1	F1	V2	R1	135.0	1349	7.4	7.2	228
C1	H1	S1	F1	V2	R2	132.4	1336	6.6		
C1	H1	S1	F1	V2	R3	131.0	1314	5.0		
C1	H1	S1	F1	V2	R4	128.0	1282	5.5		
C1	H1	S1	F1	V2	R5	180.0	1806	8.1		
Promedios						141.3	1417.4	6.5		
C1	H1	S1	F2	V1	R1	160.0	1616	8.5	7.2	644
C1	H1	S1	F2	V1	R2	187.0	1879	8.8		
C1	H1	S1	F2	V1	R3	199.8	2008	9.7		
C1	H1	S1	F2	V1	R4	118.8	1198	4.7		
C1	H1	S1	F2	V1	R5	165.9	1662	6.1		
Promedios						166.3	1672.6	7.6		
C1	H1	S1	F2	V2	R1	227.0	2274	8.0	7.2	722
C1	H1	S1	F2	V2	R2	252.0	2525	10.5		
C1	H1	S1	F2	V2	R3	241.0	2453	8.0		
C1	H1	S1	F2	V2	R4	248.8	2653	10.5		
C1	H1	S1	F2	V2	R5	221.0	2214	7.9		
Promedios						238.0	2423.8	9.0		
C1	H1	S2	F1	V1	R1	43.7	422	2.1	7.2	104
C1	H1	S2	F1	V1	R2	46.8	472	2.2		
C1	H1	S2	F1	V1	R3	53.0	530	2.6		
C1	H1	S2	F1	V1	R4	58.0	597	2.9		
C1	H1	S2	F1	V1	R5	68.0	690	3.0		
Promedios						53.9	542.2	2.6		
C1	H1	S2	F1	V2	R1	44.0	446	2.4	7.2	73
C1	H1	S2	F1	V2	R2	57.0	602	2.6		
C1	H1	S2	F1	V2	R3	54.0	549	3.0		
C1	H1	S2	F1	V2	R4	54.0	550	2.3		
C1	H1	S2	F1	V2	R5	75.0	751	3.5		
Promedios						56.8	579.6	2.8		
C1	H1	S2	F2	V1	R1	111.0	1122	5.4	7.2	424
C1	H1	S2	F2	V1	R2	126.0	1278	4.9		
C1	H1	S2	F2	V1	R3	115.0	1180	4.5		
C1	H1	S2	F2	V1	R4	106.0	1074	4.1		
C1	H1	S2	F2	V1	R5	131.0	1312	4.5		
Promedios						117.8	1193.2	4.7		
C1	H1	S2	F2	V2	R1	154.0	1549	6.0	7.2	414
C1	H1	S2	F2	V2	R2	158.0	1582	5.3		
C1	H1	S2	F2	V2	R3	156.0	1568	5.1		
C1	H1	S2	F2	V2	R4	146.0	1469	5.6		
C1	H1	S2	F2	V2	R5	180.0	1824	6.2		
Promedios						158.8	1598.4	5.6		

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C1	H2	S1	F1	V1	R1	104.0	1037	4.8	28	372
C1	H2	S1	F1	V1	R2	77.4	778	3.4		
C1	H2	S1	F1	V1	R3	74.5	832	3.1		
C1	H2	S1	F1	V1	R4	73.7	736	3.0		
C1	H2	S1	F1	V1	R5	100.0	1000	3.6		
Promedios						85.9	876.6	3.6		

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C1	H2	S2	F1	V1	R1	19.7	197	1.2	22.5	128
C1	H2	S2	F1	V1	R2	33.3	335	1.5		
C1	H2	S2	F1	V1	R3	34.5	348	1.3		
C1	H2	S2	F1	V1	R4	37.0	373	1.4		
C1	H2	S2	F1	V1	R5	36.2	360	1.8		
Promedios						32.1	322.6	1.4		

C1	H2	S1	F1	V2	R1	65.7	659	3.3	28	243
C1	H2	S1	F1	V2	R2	58.0	581	2.6		
C1	H2	S1	F1	V2	R3	73.2	732	3.3		
C1	H2	S1	F1	V2	R4	64.2	643	2.7		
C1	H2	S1	F1	V2	R5	76.8	769	3.1		
Promedios						67.6	676.8	3.0		

C1	H2	S2	F1	V2	R1	32.7	320	1.7	19.3	119
C1	H2	S2	F1	V2	R2	41.5	416	2.0		
C1	H2	S2	F1	V2	R3	58.0	586	2.2		
C1	H2	S2	F1	V2	R4	57.1	573	2.3		
C1	H2	S2	F1	V2	R5	61.7	624	1.9		
Promedios						50.2	503.8	2.0		

C1	H2	S1	F2	V1	R1	75.3	757	3.3	36	218
C1	H2	S1	F2	V1	R2	62.7	627	3.4		
C1	H2	S1	F2	V1	R3	70.8	710	8.5		
C1	H2	S1	F2	V1	R4	79.7	790	3.7		
C1	H2	S1	F2	V1	R5	54.0	541	2.4		
Promedios						68.5	685.0	4.3		

C1	H2	S2	F2	V1	R1	100.0	1007	5.3	33.5	295
C1	H2	S2	F2	V1	R2	103.0	1107	4.7		
C1	H2	S2	F2	V1	R3	94.7	1009	3.0		
C1	H2	S2	F2	V1	R4	132.2	1324	4.7		
C1	H2	S2	F2	V1	R5	120.5	1231	4.4		
Promedios						110.1	1135.6	4.4		

C1	H2	S1	F2	V2	R1	231.0	2311	9.1	33	319
C1	H2	S1	F2	V2	R2	138.0	1383	5.8		
C1	H2	S1	F2	V2	R3	236.0	2446	8.4		
C1	H2	S1	F2	V2	R4	241.0	2409	7.5		
C1	H2	S1	F2	V2	R5	171.0	1710	7.4		
Promedios						203.4	2051.8	7.6		

C1	H2	S2	F2	V2	R1	74.2	754	4.3	29.1	229
C1	H2	S2	F2	V2	R2	123.0	1234	5.8		
C1	H2	S2	F2	V2	R3	130.0	1309	4.8		
C1	H2	S2	F2	V2	R4	69.5	695	3.1		
C1	H2	S2	F2	V2	R5	112.1	1141	3.6		
Promedios						101.8	1026.6	4.3		

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C2	H1	S1	F1	V1	R1	90.3	901	4.5	7.2	131
C2	H1	S1	F1	V1	R2	142.8	1473	5.4		
C2	H1	S1	F1	V1	R3	100.6	1009	4.2		
C2	H1	S1	F1	V1	R4	155.0	1568	5.7		
C2	H1	S1	F1	V1	R5	144.2	1450	6.0		
Promedios						126.6	1280.2	5.2		

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C2	H1	S2	F1	V1	R1	55.0	509	2.3	9.5	195
C2	H1	S2	F1	V1	R2	49.9	503	2.1		
C2	H1	S2	F1	V1	R3	70.4	706	2.8		
C2	H1	S2	F1	V1	R4	70.1	707	3.1		
C2	H1	S2	F1	V1	R5	66.1	663	2.6		
Promedios						62.3	617.6	2.6		

C2	H1	S1	F1	V2	R1	66.0	660	2.7	7.2	131
C2	H1	S1	F1	V2	R2	130.0	1324	3.8		
C2	H1	S1	F1	V2	R3	179.0	1796	7.3		
C2	H1	S1	F1	V2	R4	195.0	1970	6.2		
C2	H1	S1	F1	V2	R5	100.7	1009	3.9		
Promedios						134.1	1351.8	4.8		

C2	H1	S2	F1	V2	R1	44.0	444	2.1	7.6	77
C2	H1	S2	F1	V2	R2	50.1	506	2.1		
C2	H1	S2	F1	V2	R3	45.6	457	1.8		
C2	H1	S2	F1	V2	R4	48.9	490	2.1		
C2	H1	S2	F1	V2	R5	56.1	563	2.2		
Promedios						48.9	492.0	2.1		

C2	H1	S1	F2	V1	R1	137.0	1380	5.3	7.2	409
C2	H1	S1	F2	V1	R2	188.0	1889	7.3		
C2	H1	S1	F2	V1	R3	255.0	2703	8.8		
C2	H1	S1	F2	V1	R4	245.0	2577	6.6		
C2	H1	S1	F2	V1	R5	183.0	1845	5.3		
Promedios						201.6	2078.8	6.7		

C2	H1	S2	F2	V1	R1	78.2	793	2.4	7.2	190
C2	H1	S2	F2	V1	R2	67.0	674	3.0		
C2	H1	S2	F2	V1	R3	85.0	862	3.4		
C2	H1	S2	F2	V1	R4	72.0	728	3.7		
C2	H1	S2	F2	V1	R5	97.0	987	4.1		
Promedios						79.8	808.8	3.3		

C2	H1	S1	F2	V2	R1	245.0	2553	7.5	7.2	765
C2	H1	S1	F2	V2	R2	253.0	2641	8.5		
C2	H1	S1	F2	V2	R3	252.0	2920	6.2		
C2	H1	S1	F2	V2	R4	251.0	3047	6.2		
C2	H1	S1	F2	V2	R5	246.0	2827	5.5		
Promedios						249.4	2797.6	6.8		

C2	H1	S2	F2	V2	R1	100.0	1012	4.2	7.2	440
C2	H1	S2	F2	V2	R2	120.0	1204	5.2		
C2	H1	S2	F2	V2	R3	140.0	1403	4.1		
C2	H1	S2	F2	V2	R4	147.0	501	5.6		
C2	H1	S2	F2	V2	R5	114.0	1142	5.0		
Promedios						124.2	1052.4	4.8		

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C2	H2	S1	F1	V1	R1	80.6	810	3.7	21	236
C2	H2	S1	F1	V1	R2	70.1	704	2.8		
C2	H2	S1	F1	V1	R3	81.8	818	4.2		
C2	H2	S1	F1	V1	R4	88.3	885	4.2		
C2	H2	S1	F1	V1	R5	76.0	762	2.9		
Promedios						79.4	795.8	3.6		

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C2	H2	S2	F1	V1	R1	50.8	509	2.2	22.2	337
C2	H2	S2	F1	V1	R2	123.0	1238	4.0		
C2	H2	S2	F1	V1	R3	90.0	904	2.6		
C2	H2	S2	F1	V1	R4	165.0	1654	3.2		
C2	H2	S2	F1	V1	R5	80.7	807	2.8		
Promedios						101.9	1022.4	3.0		

C2	H2	S1	F1	V2	R1	95.7	959	4.2	29	242
C2	H2	S1	F1	V2	R2	94.5	945	3.3		
C2	H2	S1	F1	V2	R3	76.5	767	2.9		
C2	H2	S1	F1	V2	R4	79.5	80	3.1		
C2	H2	S1	F1	V2	R5	87.1	872	3.7		
Promedios						86.7	724.5	3.4		

C2	H2	S2	F1	V2	R1	40.2	404	1.8	26.2	85
C2	H2	S2	F1	V2	R2	31.7	318	1.6		
C2	H2	S2	F1	V2	R3	27.5	276	1.0		
C2	H2	S2	F1	V2	R4	31.5	315	1.3		
C2	H2	S2	F1	V2	R5	33.0	334	1.2		
Promedios						32.8	329.4	1.4		

C2	H2	S1	F2	V1	R1	158.0	1597	9.4	35	371
C2	H2	S1	F2	V1	R2	126.0	1297	7.8		
C2	H2	S1	F2	V1	R3	140.0	1378	8.2		
C2	H2	S1	F2	V1	R4	119.0	1161	6.1		
C2	H2	S1	F2	V1	R5	146.0	1464	6.1		
Promedios						137.8	1379.4	7.5		

C2	H2	S2	F2	V1	R1	93.0	935	3.8	30.9	198
C2	H2	S2	F2	V1	R2	77.0	771	2.8		
C2	H2	S2	F2	V1	R3	60.0	606	2.5		
C2	H2	S2	F2	V1	R4	130.0	1303	3.1		
C2	H2	S2	F2	V1	R5	851.0	856	3.9		
Promedios						242.2	894.2	3.2		

C2	H2	S1	F2	V2	R1	200.0	2002	11.3	36	274
C2	H2	S1	F2	V2	R2	203.0	2040	10.3		
C2	H2	S1	F2	V2	R3	212.0	2115	10.5		
C2	H2	S1	F2	V2	R4	201.0	1941	10.7		
C2	H2	S1	F2	V2	R5	193.0	1929	9.4		
Promedios						201.8	2005.4	10.4		

C2	H2	S2	F2	V2	R1	119.0	1201	5.7	32.7	354
C2	H2	S2	F2	V2	R2	133.0	1347	4.5		
C2	H2	S2	F2	V2	R3	138.0	1382	4.3		
C2	H2	S2	F2	V2	R4	102.0	1031	2.9		
C2	H2	S2	F2	V2	R5	97.2	97	4.0		
Promedios						117.8	1011.7	4.3		

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C3	H1	S1	F1	V1	R1	185.0	1852	7.2	7.2	315
C3	H1	S1	F1	V1	R2	216.0	2154	10.9		
C3	H1	S1	F1	V1	R3	179.0	1858	6.5		
C3	H1	S1	F1	V1	R4	252.0	2596	9.0		
C3	H1	S1	F1	V1	R5	253.0	2706	8.9		
Promedios						217.0	2233.2	8.5		

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C3	H1	S2	F1	V1	R1	129.0	1300	4.4	7.2	231
C3	H1	S2	F1	V1	R2	178.0	1788	6.0		
C3	H1	S2	F1	V1	R3	171.0	1734	5.0		
C3	H1	S2	F1	V1	R4	157.0	1586	5.2		
C3	H1	S2	F1	V1	R5	182.0	1823	6.5		
Promedios						163.4	1646.2	5.4		

C3	H1	S1	F1	V2	R1	143.0	1436	8.2	7.2	248
C3	H1	S1	F1	V2	R2	153.0	1579	8.4		
C3	H1	S1	F1	V2	R3	117.0	1172	5.1		
C3	H1	S1	F1	V2	R4	109.0	1098	4.8		
C3	H1	S1	F1	V2	R5	156.0	1560	7.0		
Promedios						135.6	1369.0	6.7		

C3	H1	S2	F1	V2	R1	62.0	627	2.6	7.2	158
C3	H1	S2	F1	V2	R2	61.0	619	2.4		
C3	H1	S2	F1	V2	R3	63.0	632	2.5		
C3	H1	S2	F1	V2	R4	72.0	727	2.6		
C3	H1	S2	F1	V2	R5	97.0	972	3.3		
Promedios						71.0	715.4	2.7		

C3	H1	S1	F2	V1	R1	137.0	1371	5.3	7.2	486
C3	H1	S1	F2	V1	R2	238.0	2399	10.8		
C3	H1	S1	F2	V1	R3	178.0	1783	8.2		
C3	H1	S1	F2	V1	R4	185.0	1862	9.5		
C3	H1	S1	F2	V1	R5	230.0	2300	11.1		
Promedios						193.6	1943.0	9.0		

C3	H1	S2	F2	V1	R1	141.0	1422	5.0	7.2	279
C3	H1	S2	F2	V1	R2	165.0	1659	6.5		
C3	H1	S2	F2	V1	R3	156.0	1571	4.9		
C3	H1	S2	F2	V1	R4	128.0	1289	4.9		
C3	H1	S2	F2	V1	R5	132.0	1330	4.5		
Promedios						144.4	1454.2	5.2		

C3	H1	S1	F2	V2	R1	201.0	2018	9.7	7.2	322
C3	H1	S1	F2	V2	R2	194.0	1949	9.5		
C3	H1	S1	F2	V2	R3	196.0	1969	9.0		
C3	H1	S1	F2	V2	R4	196.0	1969	7.3		
C3	H1	S1	F2	V2	R5	218.0	2185	7.2		
Promedios						201.0	2018.0	8.5		

C3	H1	S2	F2	V2	R1	162.0	1623	5.4	7.2	405
C3	H1	S2	F2	V2	R2	199.0	2000	6.5		
C3	H1	S2	F2	V2	R3	253.0	2542	6.8		
C3	H1	S2	F2	V2	R4	225.0	2257	7.0		
C3	H1	S2	F2	V2	R5	159.0	1597	5.7		
Promedios						199.6	2003.8	6.3		

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C3	H2	S1	F1	V1	R1	111.7	1117	4.9	49	195
C3	H2	S1	F1	V1	R2	111.8	1109	4.1		
C3	H2	S1	F1	V1	R3	67.0	669	3.5		
C3	H2	S1	F1	V1	R4	68.8	684	3.1		
C3	H2	S1	F1	V1	R5	113.4	1124	6.7		
Promedios						94.5	940.6	4.5		

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C3	H2	S2	F1	V1	R1	89.8	850	2.2	37.1	252
C3	H2	S2	F1	V1	R2	60.3	603	1.6		
C3	H2	S2	F1	V1	R3	49.7	499	1.5		
C3	H2	S2	F1	V1	R4	62.7	626	1.6		
C3	H2	S2	F1	V1	R5	75.8	756	1.6		
Promedios						67.7	666.8	1.7		

C3	H2	S1	F1	V2	R1	93.9	937	4.0	48	250
C3	H2	S1	F1	V2	R2	66.0	601	2.0		
C3	H2	S1	F1	V2	R3	149.0	1493	6.3		
C3	H2	S1	F1	V2	R4	136.7	1346	5.8		
C3	H2	S1	F1	V2	R5	102.8	1026	4.4		
Promedios						109.7	1080.6	4.5		

C3	H2	S2	F1	V2	R1	207.0	2074	8.8	40.0	540
C3	H2	S2	F1	V2	R2	245.0	2460	4.8		
C3	H2	S2	F1	V2	R3	107.0	1084	3.1		
C3	H2	S2	F1	V2	R4	223.0	2250	5.3		
C3	H2	S2	F1	V2	R5	211.0	2111	5.9		
Promedios						198.6	1995.8	5.6		

C3	H2	S1	F2	V1	R1	68.2	685	3.4	45	208
C3	H2	S1	F2	V1	R2	114.0	1117	4.8		
C3	H2	S1	F2	V1	R3	99.0	991	4.9		
C3	H2	S1	F2	V1	R4	94.1	1009	3.9		
C3	H2	S1	F2	V1	R5	120.0	1178	5.3		
Promedios						99.1	996.0	4.5		

C3	H2	S2	F2	V1	R1	202.0	2024	8.4	32.7	625
C3	H2	S2	F2	V1	R2	147.0	1499	4.1		
C3	H2	S2	F2	V1	R3	160.0	1662	4.0		
C3	H2	S2	F2	V1	R4	185.0	1861	5.0		
C3	H2	S2	F2	V1	R5	226.0	2270	5.6		
Promedios						184.0	1863.2	5.4		

C3	H2	S1	F2	V2	R1	215.0	2157	9.5	47	277
C3	H2	S1	F2	V2	R2	155.0	1532	6.6		
C3	H2	S1	F2	V2	R3	166.0	1630	8.1		
C3	H2	S1	F2	V2	R4	161.0	1585	7.6		
C3	H2	S1	F2	V2	R5	158.0	1575	8.2		
Promedios						171.0	1695.8	8.0		

C3	H2	S2	F2	V2	R1	135.0	1360	4.2	40.0	545
C3	H2	S2	F2	V2	R2	149.0	1495	4.8		
C3	H2	S2	F2	V2	R3	225.0	2258	5.9		
C3	H2	S2	F2	V2	R4	166.0	167	4.5		
C3	H2	S2	F2	V2	R5	141.0	1450	3.9		
Promedios						163.2	1346.0	4.7		

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C4	H1	S1	F1	V1	R1	169.0	1707	6.6	7.2	205
C4	H1	S1	F1	V1	R2	155.0	1562	5.8		
C4	H1	S1	F1	V1	R3	242.0	2457	10.1		
C4	H1	S1	F1	V1	R4	248.0	2545	11.4		
C4	H1	S1	F1	V1	R5	171.0	1647	7.6		
Promedios						197.0	1983.6	8.3		

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
C4	H1	S2	F1	V1	R1	68.4	708	3.6	7.2	179
C4	H1	S2	F1	V1	R2	63.0	631	3.3		
C4	H1	S2	F1	V1	R3	32.2	325	1.4		
C4	H1	S2	F1	V1	R4	64.0	647	3.7		
C4	H1	S2	F1	V1	R5	57.8	579	2.6		
Promedios						57.1	578.0	2.9		

C4	H1	S1	F1	V2	R1	111.0	1097	6.5	7.2	108
C4	H1	S1	F1	V2	R2	146.0	1472	6.9		
C4	H1	S1	F1	V2	R3	155.0	1553	5.8		
C4	H1	S1	F1	V2	R4	147.0	1478	6.8		
C4	H1	S1	F1	V2	R5	172.0	1728	10.0		
Promedios						146.2	1465.6	7.2		

C4	H1	S2	F1	V2	R1	108.0	1084	4.0	7.2	196
C4	H1	S2	F1	V2	R2	109.0	1100	4.1		
C4	H1	S2	F1	V2	R3	158.0	1597	4.9		
C4	H1	S2	F1	V2	R4	139.0	1401	4.6		
C4	H1	S2	F1	V2	R5	137.0	1376	4.0		
Promedios						130.2	1311.6	4.3		

C4	H1	S1	F2	V1	R1	166.0	1667	6.3	7.2	345
C4	H1	S1	F2	V1	R2	168.0	1673	7.2		
C4	H1	S1	F2	V1	R3	168.0	1673	6.8		
C4	H1	S1	F2	V1	R4	149.0	1497	6.0		
C4	H1	S1	F2	V1	R5	203.0	2044	7.4		
Promedios						170.8	1710.8	6.7		

C4	H1	S2	F2	V1	R1	158.0	1548	5.7	7.2	355
C4	H1	S2	F2	V1	R2	174.0	1741	6.1		
C4	H1	S2	F2	V1	R3	179.0	1803	6.1		
C4	H1	S2	F2	V1	R4	201.0	2021	6.8		
C4	H1	S2	F2	V1	R5	233.0	2400	6.3		
Promedios						189.0	1902.6	6.2		

C4	H1	S1	F2	V2	R1	203.0	2034	7.1	7.2	384
C4	H1	S1	F2	V2	R2	172.0	1724	6.7		
C4	H1	S1	F2	V2	R3	171.0	1720	6.5		
C4	H1	S1	F2	V2	R4	190.0	19718	7.6		
C4	H1	S1	F2	V2	R5	199.0	1999	8.3		
Promedios						187.0	5439.0	7.2		

C4	H1	S2	F2	V2	R1	236.0	2380	7.3	7.2	394
C4	H1	S2	F2	V2	R2	255.0	2503	8.3		
C4	H1	S2	F2	V2	R3	254.0	2603	7.8		
C4	H1	S2	F2	V2	R4	186.0	1882	5.3		
C4	H1	S2	F2	V2	R5	221.0	2217	6.4		
Promedios						230.4	2317.0	7.0		

Termina tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación
C4	H2	S1	F1	V1	R1	47.0	479	2.1	43	230
C4	H2	S1	F1	V1	R2	49.5	495	2.3		
C4	H2	S1	F1	V1	R3	44.9	451	1.8		
C4	H2	S1	F1	V1	R4	52.3	524	2.7		
C4	H2	S1	F1	V1	R5	58.8	589	2.8		
Promedios						50.5	507.6	2.3		

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Velocidad	Repetición	Fuerza máxima (N)	Gradiente (N/m)	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación
C4	H2	S2	F1	V1	R1	18.1	182	1.1	41.8	231
C4	H2	S2	F1	V1	R2	23.3	235	1.2		
C4	H2	S2	F1	V1	R3	20.0	202	1.1		
C4	H2	S2	F1	V1	R4	18.9	191	1.1		
C4	H2	S2	F1	V1	R5	21.3	214	1.3		
Promedios						20.3	204.8	1.2		

C4	H2	S1	F1	V2	R1	84.5	841	3.9	45	232
C4	H2	S1	F1	V2	R2	83.6	837	3.5		
C4	H2	S1	F1	V2	R3	120.0	1188	5.5		
C4	H2	S1	F1	V2	R4	94.1	951	4.1		
C4	H2	S1	F1	V2	R5	116.6	1166	4.8		
Promedios						99.8	996.6	4.4		

C4	H2	S2	F1	V2	R1	30.5	306	1.7	43.6	233
C4	H2	S2	F1	V2	R2	34.5	347	1.5		
C4	H2	S2	F1	V2	R3	31.2	316	1.3		
C4	H2	S2	F1	V2	R4	36.0	363	1.7		
C4	H2	S2	F1	V2	R5	47.7	483	1.7		
Promedios						36.0	363.0	1.6		

C4	H2	S1	F2	V1	R1	168.0	1530	6.7	40	234
C4	H2	S1	F2	V1	R2	149.0	1391	7.7		
C4	H2	S1	F2	V1	R3	133.8	1286	7.2		
C4	H2	S1	F2	V1	R4	107.0	1067	6.6		
C4	H2	S1	F2	V1	R5	92.8	933	5.4		
Promedios						130.1	1241.4	6.7		

C4	H2	S2	F2	V1	R1	62.0	631	3.2	41.8	235
C4	H2	S2	F2	V1	R2	68.0	677	3.2		
C4	H2	S2	F2	V1	R3	60.5	608	3.0		
C4	H2	S2	F2	V1	R4	84.6	849	4.9		
C4	H2	S2	F2	V1	R5	85.0	855	3.5		
Promedios						72.0	724.0	3.6		

C4	H2	S1	F2	V2	R1	157.0	1573	9.7	44	236
C4	H2	S1	F2	V2	R2	168.0	1691	9.2		
C4	H2	S1	F2	V2	R3	141.0	1416	9.1		
C4	H2	S1	F2	V2	R4	153.0	1535	9.9		
C4	H2	S1	F2	V2	R5	164.0	1648	8.3		
Promedios						156.6	1572.6	9.2		

C4	H2	S2	F2	V2	R1	81.6	818	3.7	44.0	237
C4	H2	S2	F2	V2	R2	84.8	850	4.3		
C4	H2	S2	F2	V2	R3	113.0	1143	4.1		
C4	H2	S2	F2	V2	R4	81.2	818	3.0		
C4	H2	S2	F2	V2	R5	138.0	1383	4.7		
Promedios						99.7	1002.4	4.0		

A continuación se muestran las gráficas correspondientes a los ensayos de corte de suelo con cuchilla en texturómetro con diferentes humedades, compactaciones y velocidades para las combinaciones de:

Cuchillas (CX)

- C1 Borde cortante recto (línea azul oscuro)
- C2 Borde cortante cuchilla "V" (línea rosa)
- C3 Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero (línea amarilla)
- C4 Borde cortante con dientes en forma de triángulo isósceles (línea azul claro)

S1, Suelo franco – arcilloso

S2, Suelo franco – arenoso

H1, Humedad a punto de marchitamiento permanente (PMP)

H2, Humedad a capacidad de campo (CC)

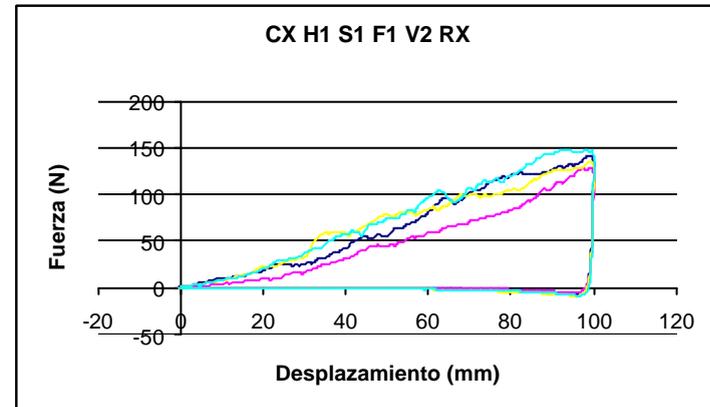
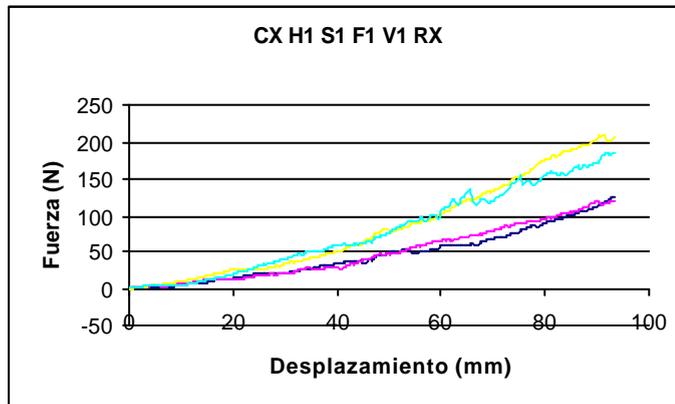
F1, Compactación por propio peso del suelo

F2, Compactación forzada

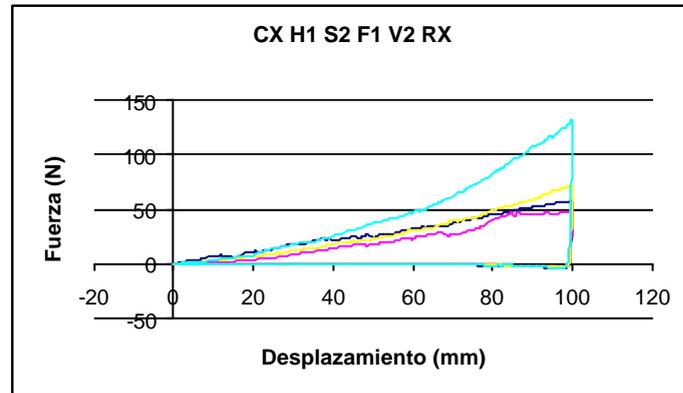
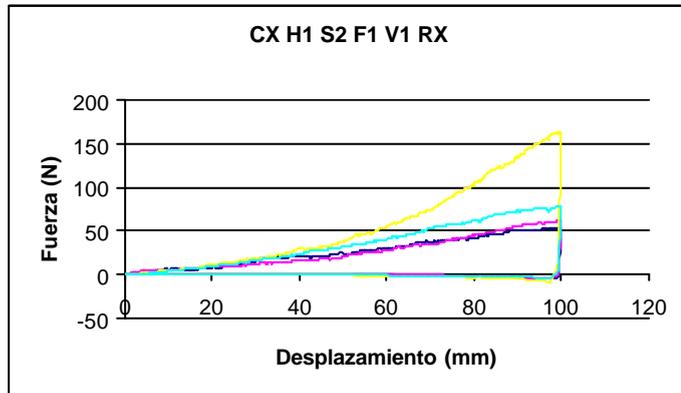
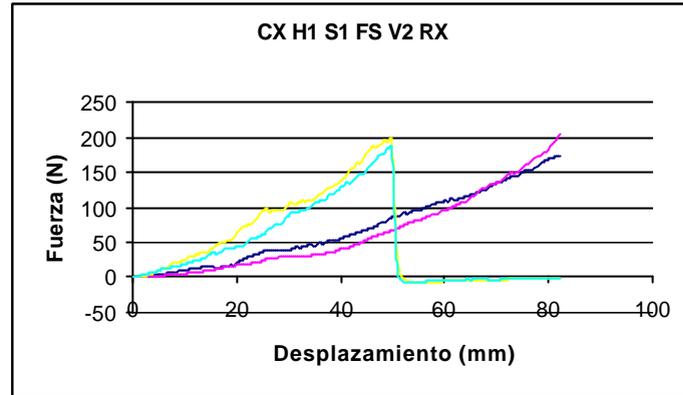
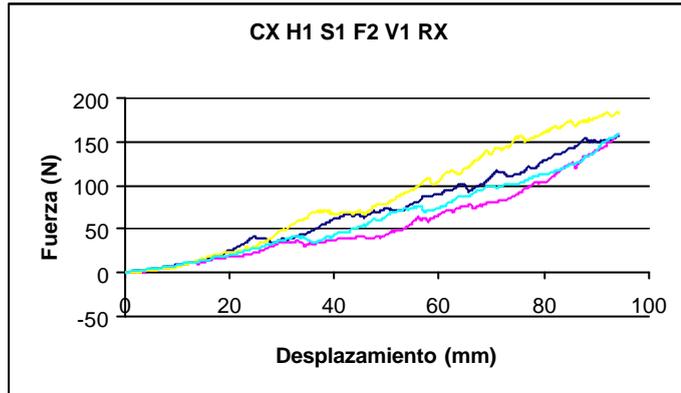
Velocidad 1 (V1) 1mm/s

Velocidad 2 (V2) 10mm/s

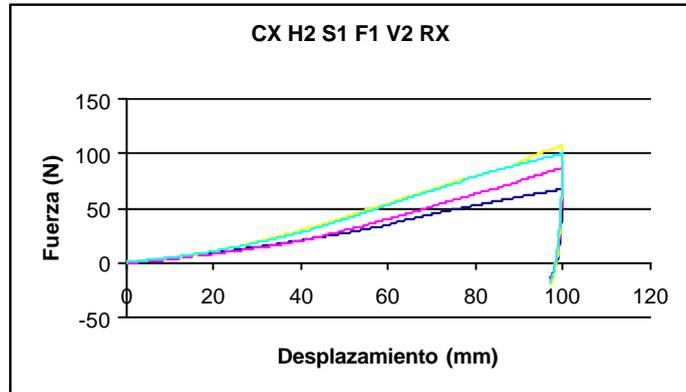
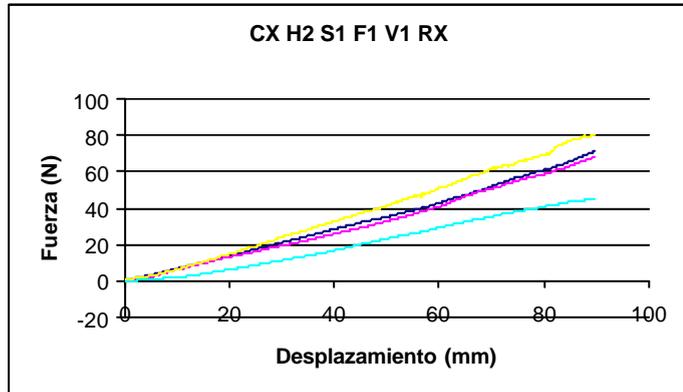
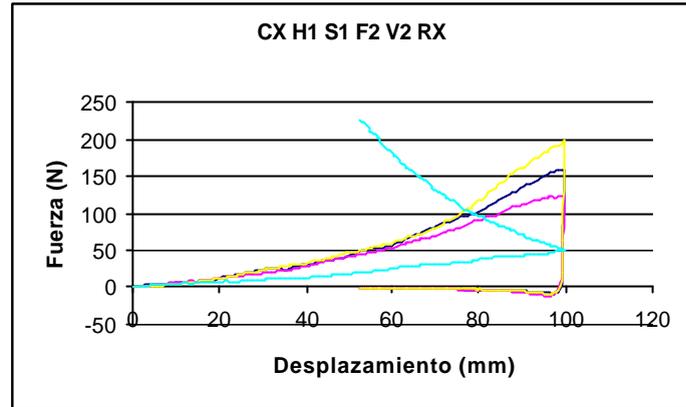
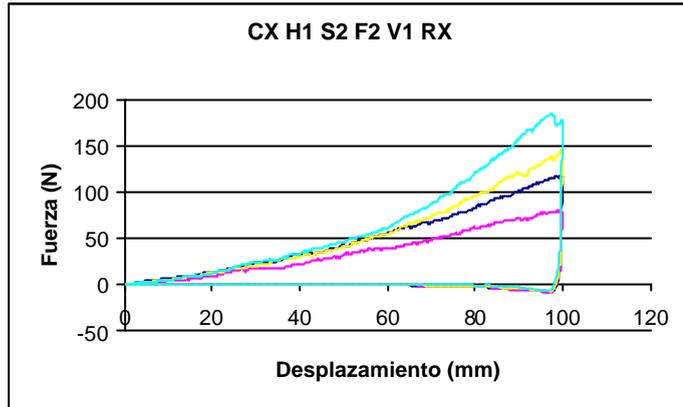
Repetición (RX) Representa el promedio de los 5 ensayos realizados para esa combinación.



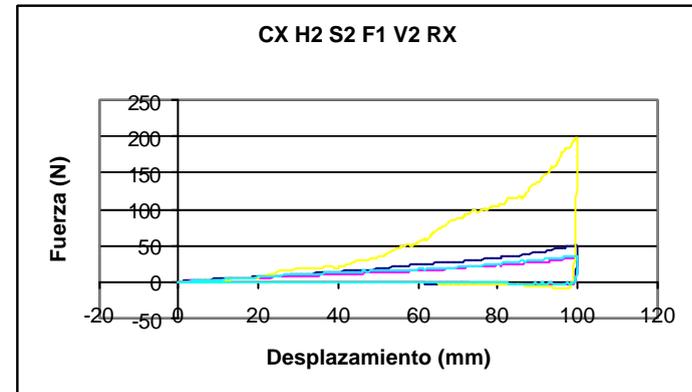
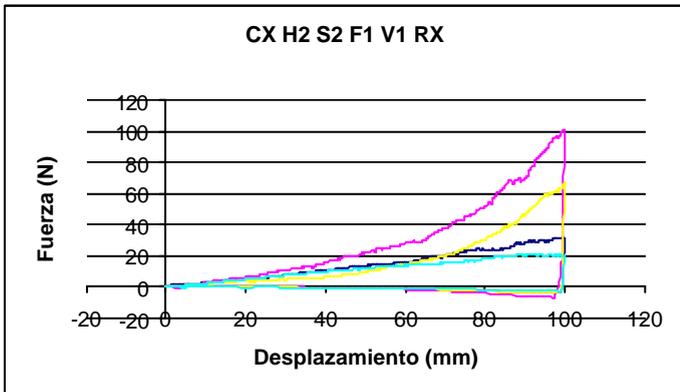
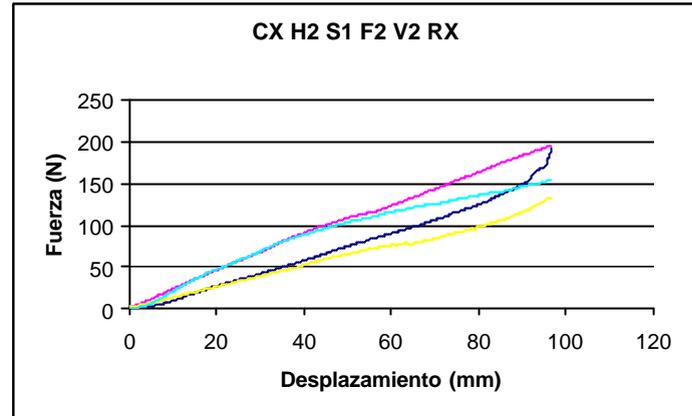
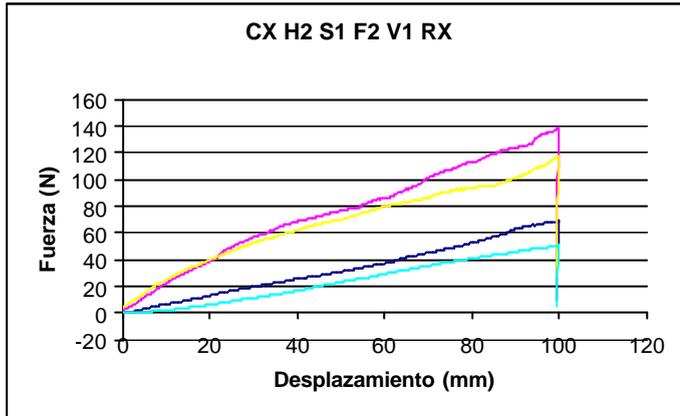
Continúan gráficas...



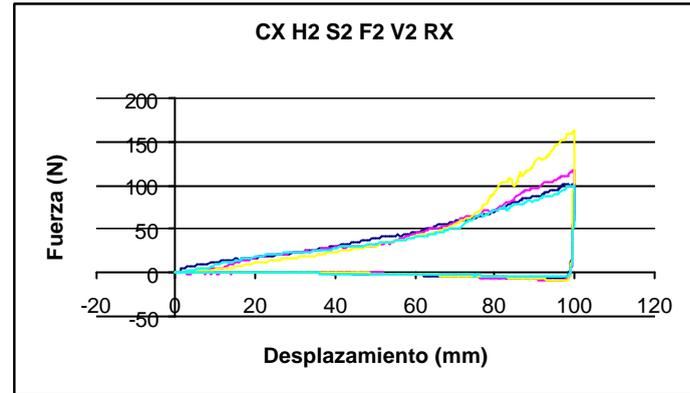
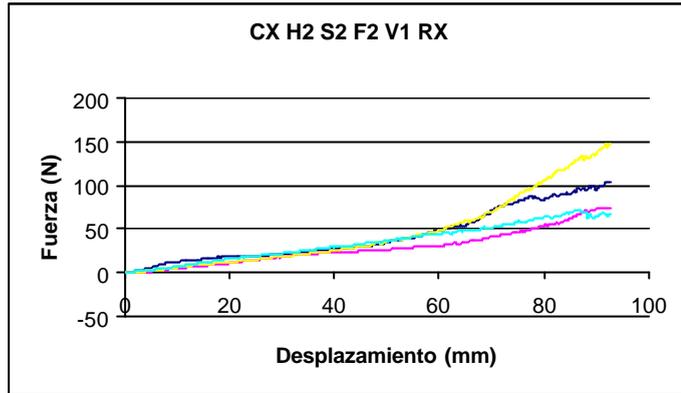
Continúan gráficas...



Continúan gráficas...



Terminan gráficas...



Apéndice IV

APÉNDICE IV. ENSAYOS DE CORTE DE PLÁSTICO SOBRE SUELO CON CUCHILLA EN CAÍDA LIBRE

En la tabla 1 se muestra el resumen promediado (5 repeticiones) de los resultados de los ensayos de corte de plástico sobre suelo con cuchilla en caída libre* para diferentes suelos, humedades, compactaciones y velocidades de las diferentes combinaciones de:

Plástico 1 (P1), 0.030mm de grosor

Plástico 2 (P2), 0.023mm de grosor

C1 Borde cortante recto

C2 Borde cortante cuchilla "V"

C3 Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero

C4 Borde cortante con dientes en forma de triángulo isósceles

S1, Suelo franco – arcilloso

S2, Suelo franco – arenoso

H1, Humedad a punto de marchitamiento permanente (PMP)

H2, Humedad a capacidad de campo (CC)

F1, Compactación por propio peso del suelo

F2, Compactación forzada

M1, masa 1, 0.6kg

M2, masa 2, 0.8kg

M3, masa 3, 1kg

Repetición (RX) Representa el promedio de los 5 ensayos realizados para esa combinación.

En la tabla 2 se muestran los resultados completos para los mismos ensayos.

* Las celdas en blanco representan ensayos que no pudieron ser realizados al rebasar los límites impuestos en los materiales y métodos.

Tabla 1. Resumen de los ensayos de corte de plástico sobre suelo con cuchilla en caída libre.

Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Profundidad de corte (mm)	Energía (J)	Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Profundidad de corte (mm)	Energía (J)	Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Profundidad de corte (mm)	Energía (J)								
P1	C3	H1	S1	F1	M1	25	10	P1	C3	H1	S1	F2	M1	25	10	P1	C3	H1	S2	F1	M1	30	9								
P1	C3	H1	S1	F1	M2	25	12	P1	C3	H1	S1	F2	M2	25	12	P1	C3	H1	S2	F1	M2	30	10	P1	C3	H1	S2	F2	M2	25	11
P1	C3	H1	S1	F1	M3	30	13	P1	C3	H1	S1	F2	M3	35	12	P1	C3	H1	S2	F1	M3	30	10	P1	C3	H1	S2	F2	M3	30	11
P1	C3	H2	S1	F1	M1			P1	C3	H2	S1	F2	M1			P1	C3	H2	S2	F1	M1			P1	C3	H2	S2	F2	M1		
P1	C3	H2	S1	F1	M2			P1	C3	H2	S1	F2	M2			P1	C3	H2	S2	F1	M2			P1	C3	H2	S2	F2	M2		
P1	C3	H2	S1	F1	M3			P1	C3	H2	S1	F2	M3			P1	C3	H2	S2	F1	M3	35	17	P1	C3	H2	S2	F2	M3	20	20
P1	C4	H1	S1	F1	M1	30	10	P1	C4	H1	S1	F2	M1	25	10	P1	C4	H1	S2	F1	M1	25	8	P1	C4	H1	S2	F2	M1	30	9
P1	C4	H1	S1	F1	M2	35	13	P1	C4	H1	S1	F2	M2	30	11	P1	C4	H1	S2	F1	M2	30	9	P1	C4	H1	S2	F2	M2	30	11
P1	C4	H1	S1	F1	M3	30	10	P1	C4	H1	S1	F2	M3	30	12	P1	C4	H1	S2	F1	M3	30	8	P1	C4	H1	S2	F2	M3	25	10
P1	C4	H2	S1	F1	M1			P1	C4	H2	S1	F2	M1			P1	C4	H2	S2	F1	M1	40	11	P1	C4	H2	S2	F2	M1		
P1	C4	H2	S1	F1	M2			P1	C4	H2	S1	F2	M2			P1	C4	H2	S2	F1	M2	35	13	P1	C4	H2	S2	F2	M2	25	15
P1	C4	H2	S1	F1	M3	65	19	P1	C4	H2	S1	F2	M3			P1	C4	H2	S2	F1	M3	35	14	P1	C4	H2	S2	F2	M3	3	16
P2	C3	H1	S1	F1	M1	30	9	P2	C3	H1	S1	F2	M1	25	7	P2	C3	H1	S2	F1	M1	45	9	P2	C3	H1	S2	F2	M1	25	6
P2	C3	H1	S1	F1	M2	35	11	P2	C3	H1	S1	F2	M2	25	8	P2	C3	H1	S2	F1	M2	30	7	P2	C3	H1	S2	F2	M2	20	5
P2	C3	H1	S1	F1	M3	35	8	P2	C3	H1	S1	F2	M3	30	8	P2	C3	H1	S2	F1	M3	35	7	P2	C3	H1	S2	F2	M3	25	5
P2	C3	H2	S1	F1	M1			P2	C3	H2	S1	F2	M1			P2	C3	H2	S2	F1	M1	30	11	P2	C3	H2	S2	F2	M1		
P2	C3	H2	S1	F1	M2			P2	C3	H2	S1	F2	M2			P2	C3	H2	S2	F1	M2	40	13	P2	C3	H2	S2	F2	M2	30	15
P2	C3	H2	S1	F1	M3	55	19	P2	C3	H2	S1	F2	M3			P2	C3	H2	S2	F1	M3	35	14	P2	C3	H2	S2	F2	M3	30	17
P2	C4	H1	S1	F1	M1	30	6	P2	C4	H1	S1	F2	M1	20	6	P2	C4	H1	S2	F1	M1	30	6	P2	C4	H1	S2	F2	M1	25	5
P2	C4	H1	S1	F1	M2	30	7	P2	C4	H1	S1	F2	M2	25	7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	30	7	P2	C4	H1	S2	F2	M2	25	6
P2	C4	H1	S1	F1	M3	35	7	P2	C4	H1	S1	F2	M3	25	6	P2	C4	H1	S2	F1	M3	35	6	P2	C4	H1	S2	F2	M3	20	5
P2	C4	H2	S1	F1	M1			P2	C4	H2	S1	F2	M1			P2	C4	H2	S2	F1	M1	45	10	P2	C4	H2	S2	F2	M1		
P2	C4	H2	S1	F1	M2			P2	C4	H2	S1	F2	M2			P2	C4	H2	S2	F1	M2	40	12	P2	C4	H2	S2	F2	M2		
P2	C4	H2	S1	F1	M3			P2	C4	H2	S1	F2	M3			P2	C4	H2	S2	F1	M3	40	13	P2	C4	H2	S2	F2	M3	35	19

Tabla 2. Ensayos de corte de plástico sobre suelo con cuchilla en caída libre

Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI / NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa	Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI / NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
P1	C3	H1	S1	F1	M1	R1	SI	2.5	1.70	10.0	7.20	160	P1	C3	H1	S1	F2	M1	R1	SI	3.0	1.70	10.0	7.20	313
P1	C3	H1	S1	F1	M1	R2	SI	3.0	1.70	10.0			P1	C3	H1	S1	F2	M1	R2	NO	2.0	1.65	9.7		
P1	C3	H1	S1	F1	M1	R3	NO	3.0	1.65	9.7			P1	C3	H1	S1	F2	M1	R3	SI	2.5	1.70	10.0		
P1	C3	H1	S1	F1	M1	R4	SI	2.5	1.70	10.0			P1	C3	H1	S1	F2	M1	R4	SI	2.5	1.70	10.0		
P1	C3	H1	S1	F1	M1	R5	SI	2.5	1.70	10.0			P1	C3	H1	S1	F2	M1	R5	SI	2.5	1.70	10.0		
P1	C3	H1	S1	F1	M1	R1	SI	3.0	1.50	11.8			7.20	265	P1	C3	H1	S1	F2	M2	R1	SI	3.0		
P1	C3	H1	S1	F1	M2	R2	NO	2.0	1.45	11.4	P1	C3			H1	S1	F2	M2	R2	NO	2.0	1.45	11.4		
P1	C3	H1	S1	F1	M2	R3	SI	2.5	1.50	11.8	P1	C3			H1	S1	F2	M2	R3	SI	2.0	1.50	11.8		
P1	C3	H1	S1	F1	M2	R4	SI	3.0	1.50	11.8	P1	C3			H1	S1	F2	M2	R4	SI	2.5	1.50	11.8		
P1	C3	H1	S1	F1	M2	R5	SI	2.5	1.50	11.8	P1	C3			H1	S1	F2	M2	R5	SI	2.5	1.50	11.8		
P1	C3	H1	S1	F1	M3	R1	SI	3.0	1.30	12.7	7.20	219			P1	C3	H1	S1	F2	M3	R1	SI	3.0	1.25	12.3
P1	C3	H1	S1	F1	M3	R2	SI	2.5	1.30	12.7			P1	C3	H1	S1	F2	M3	R2	NO	2.5	1.20	11.0		
P1	C3	H1	S1	F1	M3	R3	NO	2.5	1.25	12.3			P1	C3	H1	S1	F2	M3	R3	SI	4.0	1.25	12.3		
P1	C3	H1	S1	F1	M3	R4	SI	3.0	1.30	12.7			P1	C3	H1	S1	F2	M3	R4	SI	3.5	1.25	12.3		
P1	C3	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.0	1.30	12.7			P1	C3	H1	S1	F2	M3	R5	SI	3.5	1.25	12.3		
P1	C3	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.55	9.1			7.20	250	P1	C3	H1	S2	F2	M1	R1	SI	3.0	1.70	10.0
P1	C3	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.55	9.1	P1	C3			H1	S2	F2	M1	R2	NO	2.5	1.65	9.7		
P1	C3	H1	S2	F1	M1	R3	NO	2.5	1.50	8.8	P1	C3			H1	S2	F2	M1	R3	SI	2.5	1.70	10.0		
P1	C3	H1	S2	F1	M1	R4	SI	2.5	1.55	9.1	P1	C3			H1	S2	F2	M1	R4	SI	3.0	1.70	10.0		
P1	C3	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	1.55	9.1	P1	C3			H1	S2	F2	M1	R5	SI	2.5	1.70	10.0		
P1	C3	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	1.30	10.2	7.20	251			P1	C3	H1	S2	F2	M2	R1	SI	2.5	1.45	11.4
P1	C3	H1	S2	F1	M2	R2	SI	3.0	1.30	10.2			P1	C3	H1	S2	F2	M2	R2	NO	2.5	1.40	11.0		
P1	C3	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.0	1.30	10.2			P1	C3	H1	S2	F2	M2	R3	SI	3.0	1.45	11.4		
P1	C3	H1	S2	F1	M2	R4	NO	2.5	1.25	9.8			P1	C3	H1	S2	F2	M2	R4	SI	2.0	1.45	11.4		
P1	C3	H1	S2	F1	M2	R5	SI	2.5	1.30	10.2			P1	C3	H1	S2	F2	M2	R5	SI	3.5	1.45	11.4		
P1	C3	H1	S2	F1	M3	R1	SI	3.5	1.05	10.3			7.20	252	P1	C3	H1	S2	F2	M3	R1	SI	3.0	1.10	10.8
P1	C3	H1	S2	F1	M3	R2	SI	3.5	1.05	10.3	P1	C3			H1	S2	F2	M3	R2	NO	2.5	1.05	10.3		
P1	C3	H1	S2	F1	M3	R3	SI	2.5	1.05	10.3	P1	C3			H1	S2	F2	M3	R3	SI	3.0	1.10	10.8		
P1	C3	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.5	1.05	10.3	P1	C3			H1	S2	F2	M3	R4	SI	3.0	1.10	10.8		
P1	C3	H1	S2	F1	M3	R5	NO	2.8	1.00	9.8	P1	C3			H1	S2	F2	M3	R5	SI	3.0	1.10	10.8		

Continúa tabla 2...

Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI / NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa	Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI / NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa							
P1	C3	H2	S1	F1	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m			40.00	200		P1	C3	H2	S1	F2	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m												
P1	C3	H2	S1	F1	M1	R2							P1	C3	H2	S1	F2	M1	R2													
P1	C3	H2	S1	F1	M1	R3							P1	C3	H2	S1	F2	M1	R3													
P1	C3	H2	S1	F1	M1	R4							P1	C3	H2	S1	F2	M1	R4													
P1	C3	H2	S1	F1	M1	R5							P1	C3	H2	S1	F2	M1	R5													
P1	C3	H2	S1	F1	M2	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m			46.18	336		P1	C3	H2	S1	F2	M2	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m												
P1	C3	H2	S1	F1	M2	R2							P1	C3	H2	S1	F2	M2	R2													
P1	C3	H2	S1	F1	M2	R3							P1	C3	H2	S1	F2	M2	R3													
P1	C3	H2	S1	F1	M2	R4							P1	C3	H2	S1	F2	M2	R4													
P1	C3	H2	S1	F1	M2	R5							P1	C3	H2	S1	F2	M2	R5													
P1	C3	H2	S1	F1	M3	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m			46.54	304		P1	C3	H2	S1	F2	M3	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m												
P1	C3	H2	S1	F1	M3	R2							P1	C3	H2	S1	F2	M3	R2													
P1	C3	H2	S1	F1	M3	R3							P1	C3	H2	S1	F2	M3	R3													
P1	C3	H2	S1	F1	M3	R4							P1	C3	H2	S1	F2	M3	R4													
P1	C3	H2	S1	F1	M3	R5							P1	C3	H2	S1	F2	M3	R5													
P1	C3	H2	S2	F1	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m				202		P1	C3	H2	S2	F2	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m									45.81	113		
P1	C3	H2	S2	F1	M1	R2							P1	C3	H2	S2	F2	M1	R2													
P1	C3	H2	S2	F1	M1	R3							P1	C3	H2	S2	F2	M1	R3													
P1	C3	H2	S2	F1	M1	R4							P1	C3	H2	S2	F2	M1	R4													
P1	C3	H2	S2	F1	M1	R5							P1	C3	H2	S2	F2	M1	R5													
P1	C3	H2	S2	F1	M2	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m				219		P1	C3	H2	S2	F2	M2	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m										45.81	295	
P1	C3	H2	S2	F1	M2	R2							P1	C3	H2	S2	F2	M2	R2													
P1	C3	H2	S2	F1	M2	R3							P1	C3	H2	S2	F2	M2	R3													
P1	C3	H2	S2	F1	M2	R4							P1	C3	H2	S2	F2	M2	R4													
P1	C3	H2	S2	F1	M2	R5							P1	C3	H2	S2	F2	M2	R5													
P1	C3	H2	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	1.70	16.7	45.81	121		P1	C3	H2	S2	F2	M3	R1	SI	2.0	2.00	19.6	46.54	278						
P1	C3	H2	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	1.65	16.2				P1	C3	H2	S2	F2	M3	R2	SI	2.5	2.00	19.6								
P1	C3	H2	S2	F1	M3	R3	SI	4.0	1.70	16.7				P1	C3	H2	S2	F2	M3	R3	NO	2.0	1.95	19.1								
P1	C3	H2	S2	F1	M3	R4	SI	3.5	1.70	16.7				P1	C3	H2	S2	F2	M3	R4	SI	2.0	2.00	19.6								
P1	C3	H2	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	1.70	16.7				P1	C3	H2	S2	F2	M3	R5	SI	2.5	2.00	19.6								

Continúa tabla 2...

Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI/NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
P1	C4	H1	S1	F1	M1	R1	SI	3.0	1.65	9.7	7.20	46
P1	C4	H1	S1	F1	M1	R2	SI	3.0	1.65	9.7		
P1	C4	H1	S1	F1	M1	R3	NO	2.5	1.60	9.4		
P1	C4	H1	S1	F1	M1	R4	SI	3.5	1.65	9.7		
P1	C4	H1	S1	F1	M1	R5	SI	3.0	1.65	9.7		
P1	C4	H1	S1	F2	M1	R1	SI	2.5	1.70	10.0	7.16	572
P1	C4	H1	S1	F2	M1	R2	NO	2.5	1.65	9.7		
P1	C4	H1	S1	F2	M1	R3	SI	3.0	1.70	10.0		
P1	C4	H1	S1	F2	M1	R4	SI	2.5	1.70	10.0		
P1	C4	H1	S1	F2	M1	R5	SI	3.0	1.70	10.0		
P1	C4	H1	S1	F1	M2	R1	NO	3.0	1.25	9.8	7.20	100
P1	C4	H1	S1	F1	M2	R2	SI	3.0	1.30	10.2		
P1	C4	H1	S1	F1	M2	R3	SI	4.0	1.30	10.2		
P1	C4	H1	S1	F1	M2	R4	SI	3.0	1.30	10.2		
P1	C4	H1	S1	F1	M2	R5	SI	3.5	1.30	10.2		
P1	C4	H1	S1	F2	M2	R1	SI	3.0	1.45	11.4	7.16	579
P1	C4	H1	S1	F2	M2	R2	NO	2.5	1.40	11.0		
P1	C4	H1	S1	F2	M2	R3	SI	4.0	1.45	11.4		
P1	C4	H1	S1	F2	M2	R4	SI	3.5	1.45	11.4		
P1	C4	H1	S1	F2	M2	R5	SI	3.0	1.45	11.4		
P1	C4	H1	S1	F1	M3	R1	SI	3.0	1.00	9.8	7.20	129
P1	C4	H1	S1	F1	M3	R2	SI	3.0	1.00	9.8		
P1	C4	H1	S1	F1	M3	R3	NO	2.0	0.95	9.3		
P1	C4	H1	S1	F1	M3	R4	SI	2.5	1.00	9.8		
P1	C4	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	1.00	9.8		
P1	C4	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.40	8.2	7.20	82
P1	C4	H1	S2	F1	M1	R2	NO	2.5	1.35	7.9		
P1	C4	H1	S2	F1	M1	R3	SI	2.5	1.40	8.2		
P1	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	2.5	1.40	8.2		
P1	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	2.5	1.40	8.2		
P1	C4	H1	S2	F2	M1	R1	SI	3.0	1.60	9.4	7.16	822
P1	C4	H1	S2	F2	M1	R2	NO	2.5	1.55	9.1		
P1	C4	H1	S2	F2	M1	R3	SI	3.0	1.60	9.4		
P1	C4	H1	S2	F2	M1	R4	SI	2.5	1.60	9.4		
P1	C4	H1	S2	F2	M1	R5	SI	3.0	1.60	9.4		
P1	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	1.20	9.4	7.20	92
P1	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	3.0	1.15	8.7		
P1	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.0	1.20	9.4		
P1	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	3.0	1.20	9.4		
P1	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	1.20	9.4		
P1	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	1.40	11.0	7.09	698
P1	C4	H1	S2	F2	M2	R2	NO	3.0	1.35	10.6		
P1	C4	H1	S2	F2	M2	R3	SI	2.5	1.40	11.0		
P1	C4	H1	S2	F2	M2	R4	SI	2.5	1.40	11.0		
P1	C4	H1	S2	F2	M2	R5	SI	3.0	1.40	11.0		
P1	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	3.0	0.80	7.8	7.20	144
P1	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	2.0	0.75	7.4		
P1	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	3.0	0.80	7.8		
P1	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.80	7.8		
P1	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.0	0.80	7.8		
P1	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	1.05	10.3	7.16	762
P1	C4	H1	S2	F2	M3	R2	NO	2.0	1.00	9.8		
P1	C4	H1	S2	F2	M3	R3	SI	2.5	1.05	10.3		
P1	C4	H1	S2	F2	M3	R4	SI	3.0	1.05	10.3		
P1	C4	H1	S2	F2	M3	R5	SI	3.0	1.05	10.3		

Continúa tabla 2...

Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI / NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa						
P1	C4	H2	S1	F1	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m											
P1	C4	H2	S1	F1	M1	R2												
P1	C4	H2	S1	F1	M1	R3												
P1	C4	H2	S1	F1	M1	R4												
P1	C4	H2	S1	F1	M1	R5												
P1	C4	H2	S1	F1	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m											
P1	C4	H2	S1	F1	M1	R2												
P1	C4	H2	S1	F1	M1	R3												
P1	C4	H2	S1	F1	M1	R4												
P1	C4	H2	S1	F1	M1	R5												
P1	C4	H2	S1	F1	M2	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m											
P1	C4	H2	S1	F1	M2	R2												
P1	C4	H2	S1	F1	M2	R3												
P1	C4	H2	S1	F1	M2	R4												
P1	C4	H2	S1	F1	M2	R5												
P1	C4	H2	S1	F1	M3	R1	SI	7.0	1.95	49.1	40.00	462						
P1	C4	H2	S1	F1	M3	R2									NO	6.0	1.90	18.6
P1	C4	H2	S1	F1	M3	R3									SI	6.0	1.95	19.1
P1	C4	H2	S1	F1	M3	R4									SI	6.0	1.95	19.1
P1	C4	H2	S1	F1	M3	R5									SI	7.0	1.95	19.1
P1	C4	H2	S2	F1	M1	R1	SI	4.0	1.85	10.9	32.00	279						
P1	C4	H2	S2	F1	M1	R2									NO	3.0	1.80	10.6
P1	C4	H2	S2	F1	M1	R3									SI	4.0	1.85	10.9
P1	C4	H2	S2	F1	M1	R4									SI	4.0	1.85	10.9
P1	C4	H2	S2	F1	M1	R5									SI	4.0	1.85	10.9
P1	C4	H2	S2	F1	M2	R1	NO	3.0	1.60	12.5	40.00	251						
P1	C4	H2	S2	F1	M2	R2									SI	4.0	1.65	12.9
P1	C4	H2	S2	F1	M2	R3									SI	3.5	1.65	12.9
P1	C4	H2	S2	F1	M2	R4									SI	3.0	1.65	12.9
P1	C4	H2	S2	F1	M2	R5									SI	4.0	1.65	12.9
P1	C4	H2	S2	F1	M3	R1	NO	3.0	1.40	13.7	34.91	164						
P1	C4	H2	S2	F1	M3	R2									SI	3.5	1.45	14.2
P1	C4	H2	S2	F1	M3	R3									SI	4.0	1.45	14.2
P1	C4	H2	S2	F1	M3	R4									SI	3.5	1.45	14.2
P1	C4	H2	S2	F1	M3	R5									SI	3.5	1.45	14.2
P1	C4	H2	S2	F2	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m											
P1	C4	H2	S2	F2	M1	R2												
P1	C4	H2	S2	F2	M1	R3												
P1	C4	H2	S2	F2	M1	R4												
P1	C4	H2	S2	F2	M1	R5												
P1	C4	H2	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	1.90	14.9	40.00	251						
P1	C4	H2	S2	F2	M2	R2									NO	2.0	1.85	14.5
P1	C4	H2	S2	F2	M2	R3									SI	3.0	1.85	14.5
P1	C4	H2	S2	F2	M2	R4									SI	3.0	1.85	14.5
P1	C4	H2	S2	F2	M2	R5									SI	2.5	1.85	14.5
P1	C4	H2	S2	F2	M3	R1	SI	3.0	1.60	15.7	34.91	164						
P1	C4	H2	S2	F2	M3	R2									NO	2.5	1.55	15.2
P1	C4	H2	S2	F2	M3	R3									SI	3.0	1.60	15.7
P1	C4	H2	S2	F2	M3	R4									SI	3.0	1.60	15.7
P1	C4	H2	S2	F2	M3	R5									SI	3.0	1.60	15.7

Continúa tabla 2...

Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI/NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa
P2	C3	H1	S1	F1	M1	R1	SI	3.0	1.55	9.1	7.20	106
P2	C3	H1	S1	F1	M1	R2	SI	3.0	1.55	9.1		
P2	C3	H1	S1	F1	M1	R3	SI	3.0	1.55	9.1		
P2	C3	H1	S1	F1	M1	R4	NO	3.0	1.50	8.6		
P2	C3	H1	S1	F1	M1	R5	SI	3.0	1.55	9.1		
P2	C3	H1	S1	F1	M2	R1	SI	4.0	1.40	11.0	7.20	206
P2	C3	H1	S1	F1	M2	R2	NO	3.0	1.35	10.6		
P2	C3	H1	S1	F1	M2	R3	SI	3.0	1.40	11.0		
P2	C3	H1	S1	F1	M2	R4	SI	3.5	1.40	11.0		
P2	C3	H1	S1	F1	M2	R5	SI	3.0	1.40	11.0		
P2	C3	H1	S1	F1	M3	R1	SI	3.0	0.85	8.3	7.20	46
P2	C3	H1	S1	F1	M3	R2	NO	3.0	0.80	7.8		
P2	C3	H1	S1	F1	M3	R3	SI	4.0	0.85	8.3		
P2	C3	H1	S1	F1	M3	R4	SI	3.5	0.85	8.3		
P2	C3	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	0.85	8.3		
P2	C3	H1	S2	F1	M1	R1	SI	5.0	1.50	8.8	7.20	133
P2	C3	H1	S2	F1	M1	R2	SI	4.5	1.45	8.5		
P2	C3	H1	S2	F1	M1	R3	NO	4.0	1.40	8.2		
P2	C3	H1	S2	F1	M1	R4	SI	4.0	1.45	8.5		
P2	C3	H1	S2	F1	M1	R5	SI	4.5	1.45	8.5		
P2	C3	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.95	7.4	7.20	46
P2	C3	H1	S2	F1	M2	R2	SI	3.0	0.95	7.4		
P2	C3	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.95	7.4		
P2	C3	H1	S2	F1	M2	R4	NO	3.0	0.90	7.1		
P2	C3	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.5	0.95	7.4		
P2	C3	H1	S2	F1	M3	R1	SI	3.0	0.70	6.9	7.20	70
P2	C3	H1	S2	F1	M3	R2	SI	4.0	0.70	6.9		
P2	C3	H1	S2	F1	M3	R3	SI	3.5	0.70	6.9		
P2	C3	H1	S2	F1	M3	R4	NO	3.0	0.65	6.4		
P2	C3	H1	S2	F1	M3	R5	SI	4.0	0.70	6.9		
P2	C3	H1	S1	F2	M1	R1	SI	2.5	1.25	7.4	7.16	354
P2	C3	H1	S1	F2	M1	R2	NO	2.5	1.20	7.1		
P2	C3	H1	S1	F2	M1	R3	SI	2.5	1.25	7.4		
P2	C3	H1	S1	F2	M1	R4	SI	2.5	1.25	7.4		
P2	C3	H1	S1	F2	M1	R5	SI	2.5	1.25	7.4		
P2	C3	H1	S1	F2	M2	R1	SI	2.5	1.00	7.8	7.20	268
P2	C3	H1	S1	F2	M2	R2	SI	2.5	1.00	7.8		
P2	C3	H1	S1	F2	M2	R3	NO	2.0	0.95	7.4		
P2	C3	H1	S1	F2	M2	R4	SI	2.5	1.00	7.8		
P2	C3	H1	S1	F2	M2	R5	SI	3.0	1.00	7.8		
P2	C3	H1	S1	F2	M3	R1	SI	3.0	0.80	7.8	7.20	274
P2	C3	H1	S1	F2	M3	R2	NO	3.0	0.75	7.4		
P2	C3	H1	S1	F2	M3	R3	SI	3.0	0.80	7.8		
P2	C3	H1	S1	F2	M3	R4	SI	3.0	0.80	7.8		
P2	C3	H1	S1	F2	M3	R5	SI	3.5	0.80	7.8		
P2	C3	H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	1.05	6.2	7.20	1387
P2	C3	H1	S2	F2	M1	R2	SI	3.0	1.05	6.2		
P2	C3	H1	S2	F2	M1	R3	SI	2.5	1.05	6.2		
P2	C3	H1	S2	F2	M1	R4	NO	2.5	1.00	5.9		
P2	C3	H1	S2	F2	M1	R5	SI	3.0	1.05	6.2		
P2	C3	H1	S2	F2	M2	R1	SI	2.5	0.65	5.1	7.20	1016
P2	C3	H1	S2	F2	M2	R2	SI	2.5	0.65	5.1		
P2	C3	H1	S2	F2	M2	R3	NO	2.0	0.60	4.7		
P2	C3	H1	S2	F2	M2	R4	SI	2.0	0.65	5.1		
P2	C3	H1	S2	F2	M2	R5	SI	2.0	0.65	5.1		
P2	C3	H1	S2	F2	M3	R1	NO	2.0	0.50	4.9	7.16	1130
P2	C3	H1	S2	F2	M3	R2	SI	2.5	0.55	5.4		
P2	C3	H1	S2	F2	M3	R3	SI	2.5	0.55	5.4		
P2	C3	H1	S2	F2	M3	R4	SI	2.5	0.55	5.4		
P2	C3	H1	S2	F2	M3	R5	SI	2.5	0.55	5.4		

Continúa tabla 2...

Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI / NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa				
P2	C3	H2	S1	F1	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m									
P2	C3	H2	S1	F1	M1	R2										
P2	C3	H2	S1	F1	M1	R3										
P2	C3	H2	S1	F1	M1	R4										
P2	C3	H2	S1	F1	M1	R5										
P2	C3	H2	S1	F1	M2	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m									
P2	C3	H2	S1	F1	M2	R2										
P2	C3	H2	S1	F1	M2	R3										
P2	C3	H2	S1	F1	M2	R4										
P2	C3	H2	S1	F1	M2	R5										
P2	C3	H2	S1	F1	M3	R1	SI	7.0	1.90	18.6	36.36	425	No cortó a la máxima altura fijada de 2m			
P2	C3	H2	S1	F1	M3	R2	NO	5.5	1.85	18.1						
P2	C3	H2	S1	F1	M3	R3	SI	5.5	1.90	18.6						
P2	C3	H2	S1	F1	M3	R4	SI	5.0	1.90	18.6						
P2	C3	H2	S1	F1	M3	R5	SI	5.0	1.90	18.6						
P2	C3	H2	S2	F1	M1	R1	NO	2.5	1.75	10.3	33.09	21	No cortó a la máxima altura fijada de 2m			
P2	C3	H2	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.80	10.6						
P2	C3	H2	S2	F1	M1	R3	SI	3.0	1.80	10.6						
P2	C3	H2	S2	F1	M1	R4	SI	3.5	1.80	10.6						
P2	C3	H2	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	1.80	10.6						
P2	C3	H2	S2	F1	M2	R1	NO	3.0	1.60	12.5	34.91	35	No cortó a la máxima altura fijada de 2m			
P2	C3	H2	S2	F1	M2	R2	SI	4.0	1.65	12.9						
P2	C3	H2	S2	F1	M2	R3	SI	4.0	1.65	12.9						
P2	C3	H2	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	1.65	12.9						
P2	C3	H2	S2	F1	M2	R5	SI	4.0	1.65	12.9						
P2	C3	H2	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	1.45	14.2	42.18	68	No cortó a la máxima altura fijada de 2m			
P2	C3	H2	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	1.40	13.7						
P2	C3	H2	S2	F1	M3	R3	SI	3.5	1.45	14.2						
P2	C3	H2	S2	F1	M3	R4	SI	3.5	1.45	14.2						
P2	C3	H2	S2	F1	M3	R5	SI	4.0	1.45	14.2						
P2	C3	H2	S2	F2	M3	R1	NO	3.0	1.70	16.7	36.72	206	No cortó a la máxima altura fijada de 2m			
P2	C3	H2	S2	F2	M3	R2	SI	3.0	1.75	17.2						
P2	C3	H2	S2	F2	M3	R3	SI	2.5	1.75	17.2						
P2	C3	H2	S2	F2	M3	R4	SI	3.0	1.75	17.2						
P2	C3	H2	S2	F2	M3	R5	SI	3.0	1.75	17.2						

Continúa tabla 2...

Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI / NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa	Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI / NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
P2	C4	H1	S1	F1	M1	R1	SI	3.0	1.10	6.5	7.20	89	P2	C4	H1	S1	F2	M1	R1	SI	2.5	0.95	5.6	7.20	504																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
P2	C4	H1	S1	F1	M1	R2	SI	3.0	1.10	6.5			P2	C4	H1	S1	F1	M1	R3	NO	2.5	1.05	6.2			P2	C4	H1	S1	F1	M1	R4	SI	3.5	1.10	6.5	P2	C4	H1	S1	F1	M1	R5	SI	3.0	1.10	6.5	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R1	SI	3.0	0.90	7.1	7.20	153	P2	C4	H1	S1	F2	M2	R1	NO	2.0	0.80	6.3	7.20	413	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R2	NO	2.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R3	SI	3.0	0.90	7.1	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R4	SI	2.8	0.90	7.1	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R5	SI	3.0	0.90	7.1	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R1	NO	3.0	0.70	6.9	7.20	173	P2	C4	H1	S1	F2	M3	R1	SI	2.5	0.65	6.4	7.20	546	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R2	SI	3.5	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R3	SI	4.0	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R4	SI	4.0	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	0.75	7.4	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.00	5.9	7.20	94	P2	C4	H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	0.85	5.0	7.16	363	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.00	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7	7.20	108	P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	0.80	6.3	7.20	297	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																		
P2	C4	H1	S1	F1	M1	R3	NO	2.5	1.05	6.2			P2	C4	H1	S1	F1	M1	R4	SI	3.5	1.10	6.5			P2	C4	H1	S1	F1	M1	R5	SI	3.0	1.10	6.5	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R1	SI	3.0	0.90	7.1	7.20	153	P2	C4	H1	S1	F2	M2	R1	NO	2.0			0.80	6.3	7.20	413	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R2			NO	2.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R3	SI	3.0	0.90	7.1	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R4	SI	2.8	0.90	7.1	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R5	SI	3.0	0.90	7.1	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R1	NO	3.0	0.70	6.9	7.20	173	P2	C4	H1	S1	F2			M3	R1	SI	2.5	0.65	6.4	7.20	546	P2	C4	H1			S1	F1	M3	R2	SI	3.5	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R3	SI	4.0	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R4	SI	4.0	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	0.75	7.4	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.00	5.9	7.20	94	P2			C4	H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	0.85	5.0	7.16			363	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.00	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85			6.7	7.20	108	P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI			3.0	0.80	6.3	7.20	297	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M3			R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131	P2	C4	H1	S2			F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9									
P2	C4	H1	S1	F1	M1	R4	SI	3.5	1.10	6.5			P2	C4	H1	S1	F1	M1	R5	SI	3.0	1.10	6.5			P2	C4	H1	S1	F1	M2	R1	SI	3.0	0.90	7.1	7.20	153	P2	C4	H1	S1	F2	M2	R1	NO	2.0			0.80	6.3	7.20	413	P2	C4	H1	S1	F1			M2	R2			NO	2.5	0.85	6.7	P2	C4	H1			S1	F1	M2	R3	SI	3.0	0.90	7.1	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R4	SI	2.8	0.90	7.1	P2	C4	H1	S1	F1	M2	R5	SI	3.0	0.90	7.1	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R1	NO	3.0	0.70	6.9	7.20	173	P2	C4	H1	S1	F2			M3	R1	SI	2.5	0.65			6.4	7.20	546	P2	C4	H1			S1	F1	M3			R2	SI	3.5	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R3	SI	4.0	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R4	SI	4.0	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	0.75	7.4	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.00	5.9	7.20	94	P2			C4			H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	0.85	5.0	7.16					363	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.00	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0			0.85			6.7	7.20	108	P2	C4	H1	S2	F2			M2	R1	SI			3.0	0.80	6.3	7.20	297	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7	P2			C4	H1	S2	F1	M3			R1	SI	4.0	0.60			5.9	7.20	131	P2	C4	H1	S2			F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9
P2	C4	H1	S1	F1	M1	R5	SI	3.0	1.10	6.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
P2	C4	H1	S1	F1	M2	R1	SI	3.0	0.90	7.1	7.20	153	P2	C4	H1	S1	F2	M2	R1	NO	2.0	0.80	6.3	7.20	413																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
P2	C4	H1	S1	F1	M2	R2	NO	2.5	0.85	6.7			P2	C4	H1	S1	F1	M2	R3	SI	3.0	0.90	7.1			P2	C4	H1	S1	F1	M2	R4	SI	2.8	0.90	7.1			P2	C4	H1	S1	F1	M2	R5	SI	3.0			0.90	7.1			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R1	NO	3.0			0.70	6.9	7.20	173	P2	C4	H1	S1	F2	M3	R1	SI	2.5	0.65	6.4	7.20	546	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R2	SI	3.5	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R3	SI	4.0	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R4	SI	4.0	0.75	7.4			P2	C4	H1	S1	F1			M3	R5	SI	3.5	0.75	7.4	P2	C4			H1	S2	F1			M1	R1	SI	3.0	1.00	5.9	7.20	94	P2	C4	H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	0.85	5.0	7.16	363	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.00	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6			P2			C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4			H1	S2			F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7	7.20	108	P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	0.80	6.3	7.20	297	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7	P2			C4			H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7	P2			C4	H1	S2			F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI			3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2			F1	M3	R5	SI			3.5	0.60	5.9																																																		
P2	C4	H1	S1	F1	M2	R3	SI	3.0	0.90	7.1			P2	C4	H1	S1	F1	M2	R4	SI	2.8	0.90	7.1			P2	C4	H1	S1	F1	M2	R5	SI	3.0	0.90	7.1			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R1	NO	3.0	0.70	6.9	7.20	173			P2	C4	H1	S1	F2	M3	R1	SI	2.5	0.65	6.4	7.20	546			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R2	SI	3.5	0.75	7.4			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R3	SI	4.0	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R4	SI	4.0	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	0.75	7.4			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.00	5.9	7.20	94	P2	C4			H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	0.85	5.0	7.16	363			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.00	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7	7.20	108	P2	C4		H1	S2	F2	M2		R1	SI	3.0	0.80	6.3	7.20	297			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2			F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3			R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																			
P2	C4	H1	S1	F1	M2	R4	SI	2.8	0.90	7.1			P2	C4	H1	S1	F1	M2	R5	SI	3.0	0.90	7.1			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R1	NO	3.0	0.70	6.9	7.20	173	P2	C4	H1	S1	F2	M3	R1	SI	2.5	0.65	6.4			7.20	546	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R2	SI	3.5	0.75	7.4					P2	C4	H1	S1	F1	M3	R3	SI	4.0	0.75	7.4			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R4	SI	4.0	0.75	7.4	P2	C4	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	0.75	7.4	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.00	5.9	7.20	94	P2	C4	H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	0.85	5.0			7.16	363	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.00	5.9					P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7	7.20	108	P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	0.80	6.3			7.20	297	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3					P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4			7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4					P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																														
P2	C4	H1	S1	F1	M2	R5	SI	3.0	0.90	7.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
P2	C4	H1	S1	F1	M3	R1	NO	3.0	0.70	6.9	7.20	173	P2	C4	H1	S1	F2	M3	R1	SI	2.5	0.65	6.4	7.20	546																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
P2	C4	H1	S1	F1	M3	R2	SI	3.5	0.75	7.4			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R3	SI	4.0	0.75	7.4			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R4	SI	4.0	0.75	7.4			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	0.75	7.4					P2	C4	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.00	5.9			7.20	94	P2	C4	H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	0.85	5.0	7.16	363	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.00	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6					P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7			7.20	108	P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	0.80	6.3	7.20	297	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7					P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9			7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																				
P2	C4	H1	S1	F1	M3	R3	SI	4.0	0.75	7.4			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R4	SI	4.0	0.75	7.4			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	0.75	7.4			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.00	5.9	7.20	94			P2	C4	H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	0.85	5.0	7.16	363			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.00	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7	7.20	108			P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	0.80	6.3	7.20	297			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131			P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																	
P2	C4	H1	S1	F1	M3	R4	SI	4.0	0.75	7.4			P2	C4	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	0.75	7.4			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.00	5.9	7.20	94	P2	C4	H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	0.85	5.0			7.16	363	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.00	5.9					P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7	7.20	108	P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	0.80	6.3			7.20	297	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3					P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4			7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4					P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																												
P2	C4	H1	S1	F1	M3	R5	SI	3.5	0.75	7.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
P2	C4	H1	S2	F1	M1	R1	SI	3.0	1.00	5.9	7.20	94	P2	C4	H1	S2	F2	M1	R1	SI	2.5	0.85	5.0	7.16	363																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
P2	C4	H1	S2	F1	M1	R2	SI	3.0	1.00	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6					P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7			7.20	108	P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	0.80	6.3	7.20	297	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7					P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9			7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																																																																																		
P2	C4	H1	S2	F1	M1	R3	NO	3.0	0.90	5.3			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7	7.20	108			P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	0.80	6.3	7.20	297			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131			P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																																																																																															
P2	C4	H1	S2	F1	M1	R4	SI	3.0	0.95	5.6			P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7	7.20	108	P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	0.80	6.3			7.20	297	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3					P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4			7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4					P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																																																																																																										
P2	C4	H1	S2	F1	M1	R5	SI	3.0	0.95	5.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
P2	C4	H1	S2	F1	M2	R1	SI	3.0	0.85	6.7	7.20	108	P2	C4	H1	S2	F2	M2	R1	SI	3.0	0.80	6.3	7.20	297																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
P2	C4	H1	S2	F1	M2	R2	NO	2.5	0.80	6.3			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7					P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9			7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																
P2	C4	H1	S2	F1	M2	R3	SI	3.5	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131			P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
P2	C4	H1	S2	F1	M2	R4	SI	4.0	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4			7.20	442	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4					P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9	P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
P2	C4	H1	S2	F1	M2	R5	SI	3.0	0.85	6.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
P2	C4	H1	S2	F1	M3	R1	SI	4.0	0.60	5.9	7.20	131	P2	C4	H1	S2	F2	M3	R1	SI	2.5	0.55	5.4	7.20	442																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
P2	C4	H1	S2	F1	M3	R2	NO	3.0	0.55	5.4			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
P2	C4	H1	S2	F1	M3	R3	SI	4.5	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
P2	C4	H1	S2	F1	M3	R4	SI	3.0	0.60	5.9			P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
P2	C4	H1	S2	F1	M3	R5	SI	3.5	0.60	5.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

Termina tabla 2...

Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI/NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa	Plástico	Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Corte realizado (SI/NO)	Profundidad de corte (cm)	Altura de caída	Energía (J)	Humedad % gravimétrico	Compactación kPa											
P2	C4	H2	S1	F1	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m							P2	C4	H2	S1	F2	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m															
P2	C4	H2	S1	F1	M1	R2								P2	C4	H2	S1	F2	M1	R2																
P2	C4	H2	S1	F1	M1	R3								P2	C4	H2	S1	F2	M1	R3																
P2	C4	H2	S1	F1	M1	R4								P2	C4	H2	S1	F2	M1	R4																
P2	C4	H2	S1	F1	M1	R5								P2	C4	H2	S1	F2	M1	R5																
P2	C4	H2	S1	F1	M2	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m							P2	C4	H2	S1	F2	M2	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m															
P2	C4	H2	S1	F1	M2	R2								P2	C4	H2	S1	F2	M2	R2																
P2	C4	H2	S1	F1	M2	R3								P2	C4	H2	S1	F2	M2	R3																
P2	C4	H2	S1	F1	M2	R4								P2	C4	H2	S1	F2	M2	R4																
P2	C4	H2	S1	F1	M2	R5								P2	C4	H2	S1	F2	M2	R5																
P2	C4	H2	S1	F1	M3	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m				36.36	302		P2	C4	H2	S1	F2	M3	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m					43.63	529									
P2	C4	H2	S1	F1	M3	R2									P2	C4	H2	S1	F2	M3		R2														
P2	C4	H2	S1	F1	M3	R3									P2	C4	H2	S1	F2	M3		R3														
P2	C4	H2	S1	F1	M3	R4									P2	C4	H2	S1	F2	M3		R4														
P2	C4	H2	S1	F1	M3	R5									P2	C4	H2	S1	F2	M3		R5														
P2	C4	H2	S2	F1	M1	R1	25.45	10.3	63	10.3	63	25.45	63	P2	C4	H2	S2	F2	M1	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m	40.00	156	156												
P2	C4	H2	S2	F1	M1	R2													P2	C4					H2	S2	F2	M1	R2							
P2	C4	H2	S2	F1	M1	R3													P2	C4					H2	S2	F2	M1	R3							
P2	C4	H2	S2	F1	M1	R4													P2	C4					H2	S2	F2	M1	R4							
P2	C4	H2	S2	F1	M1	R5													P2	C4					H2	S2	F2	M1	R5							
P2	C4	H2	S2	F1	M2	R1	34.54	12.2	39	12.2	39	34.54	39	P2	C4	H2	S2	F2	M2	R1	No cortó a la máxima altura fijada de 2m	41.81	185	185												
P2	C4	H2	S2	F1	M2	R2													P2	C4					H2	S2	F2	M2	R2							
P2	C4	H2	S2	F1	M2	R3													P2	C4					H2	S2	F2	M2	R3							
P2	C4	H2	S2	F1	M2	R4													P2	C4					H2	S2	F2	M2	R4							
P2	C4	H2	S2	F1	M2	R5													P2	C4					H2	S2	F2	M2	R5							
P2	C4	H2	S2	F1	M3	R1	42.18	12.7	72	12.7	72	42.18	72	P2	C4	H2	S2	F2	M3	R1	44.36	148	148													
P2	C4	H2	S2	F1	M3	R2													P2	C4				H2	S2	F2	M3	R2								
P2	C4	H2	S2	F1	M3	R3													P2	C4				H2	S2	F2	M3	R3								
P2	C4	H2	S2	F1	M3	R4													P2	C4				H2	S2	F2	M3	R4								
P2	C4	H2	S2	F1	M3	R5													P2	C4				H2	S2	F2	M3	R5								

Apéndice V

APÉNDICE V. ENSAYOS DE CORTE DE SUELO CON CUCHILLA EN CAÍDA LIBRE

En la tabla 1 se muestra el resumen promediado (5 repeticiones) de los resultados de los ensayos de corte de suelo con cuchilla en caída libre* para diferentes suelos, humedades, compactaciones y velocidades de las diferentes combinaciones de:

C1 Borde cortante recto

C2 Borde cortante cuchilla “V”

C3 Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero

C4 Borde cortante con dientes en forma de triángulo isósceles

S1, Suelo franco – arcilloso

S2, Suelo franco – arenoso

H1, Humedad a punto de marchitamiento permanente (PMP)

H2, Humedad a capacidad de campo (CC)

F1, Compactación por propio peso del suelo

F2, Compactación forzada

M1, masa 1, 0.6kg

M2, masa 2, 0.8kg

M3, masa 3, 1kg

Altura P1, altura necesaria para alcanzar la profundidad de corte obtenida para el corte de P1 en los ensayos de caída libre

Altura P2, altura necesaria para alcanzar la profundidad de corte obtenida para el corte de P2 en los ensayos de caída libre

En la tabla 2 se muestran los resultados completos para los mismos ensayos.*

- Las celdas en blanco representan ensayos que no pudieron ser realizados al rebasar los límites impuestos en los materiales y métodos.

Tabla 1. Resumen de los ensayos de corte de suelo con cuchilla en caída libre

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Altura P1	Energía P1	Altura P2	Energía P2
C3	H1	S1	F1	M1	1.10	6.5	1.20	7.1
C3	H1	S1	F1	M2	0.60	4.7	0.70	5.5
C3	H1	S1	F1	M3	0.45	4.4	0.40	3.9
C3	H2	S1	F1	M1				
C3	H2	S1	F1	M2				
C3	H2	S1	F1	M3			0.50	4.9
C4	H1	S1	F1	M1	0.50	2.9	0.50	2.9
C4	H1	S1	F1	M2	0.50	3.9	0.40	3.1
C4	H1	S1	F1	M3	0.20	2.0	0.45	4.4
C4	H2	S1	F1	M1				
C4	H2	S1	F1	M2				
C4	H2	S1	F1	M3	1.00	9.8		
C3	H1	S2	F1	M1	0.35	2.1	0.20	1.2
C3	H1	S2	F1	M2	0.40	3.1	0.45	3.5
C3	H1	S2	F1	M3	0.35	3.4	0.45	4.4
C3	H2	S2	F1	M1			0.70	4.1
C3	H2	S2	F1	M2			0.55	4.3
C3	H2	S2	F1	M3	0.50	4.9	0.50	4.9
C4	H1	S2	F1	M1	0.50	2.9	0.50	2.9
C4	H1	S2	F1	M2	0.50	3.9	0.40	3.1
C4	H1	S2	F1	M3	0.20	2.0	0.45	4.4
C4	H2	S2	F1	M1	0.80	4.7	0.40	2.4
C4	H2	S2	F1	M2	0.40	3.1	0.50	3.9
C4	H2	S2	F1	M3	0.30	2.9	0.40	3.9
C3	H1	S2	F2	M1	0.50	2.9	0.65	3.8
C3	H1	S2	F2	M2	0.70	5.5	0.50	3.9
C3	H1	S2	F2	M3	0.40	3.9	0.30	2.9
C3	H2	S2	F2	M1				
C3	H2	S2	F2	M2			1.00	7.8
C3	H2	S2	F2	M3	1.20	11.8	1.30	12.7
C4	H1	S2	F2	M1	0.50	2.9	0.50	2.9
C4	H1	S2	F2	M2	0.50	3.9	0.40	3.1
C4	H1	S2	F2	M3	0.20	2.0	0.45	4.4
C4	H2	S2	F2	M1				
C4	H2	S2	F2	M2	0.60	4.7		
C4	H2	S2	F2	M3	0.80	7.8	1.20	11.8

Tabla 2. Ensayos de corte de suelo con cuchilla en caída libre

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compacción	Masa de cuchilla	Repetición	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P1 (m)	Humedad % gravimétrico P1	Compacción P1 (kPa)	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P2 (m)	Humedad % gravimétrico P2	Compacción P2 (kPa)
C3	H1	S1	F1	M1	R1	26	1.10	7.16	302	30	1.20	7.16	458
C3	H1	S1	F1	M1	R2		1.10				1.20		
C3	H1	S1	F1	M1	R3		1.10				1.20		
C3	H1	S1	F1	M1	R4		1.10				1.20		
C3	H1	S1	F1	M1	R5		1.10				1.20		
C3	H1	S1	F1	M2	R1	28	0.60	7.16	284	34	0.70	7.16	365
C3	H1	S1	F1	M2	R2		0.60				0.70		
C3	H1	S1	F1	M2	R3		0.60				0.70		
C3	H1	S1	F1	M2	R4		0.60				0.70		
C3	H1	S1	F1	M2	R5		0.60				0.70		
C3	H1	S1	F1	M3	R1	36	0.45	7.16	333	35	0.40	7.16	345
C3	H1	S1	F1	M3	R2		0.45				0.40		
C3	H1	S1	F1	M3	R3		0.45				0.40		
C3	H1	S1	F1	M3	R4		0.45				0.40		
C3	H1	S1	F1	M3	R5		0.45				0.40		
C3	H1	S1	F2	M1	R1	27	1.05	7.16	815	25	1.00	7.16	773
C3	H1	S1	F2	M1	R2		1.05				1.00		
C3	H1	S1	F2	M1	R3		1.05				1.00		
C3	H1	S1	F2	M1	R4		1.05				1.00		
C3	H1	S1	F2	M1	R5		1.05				1.00		
C3	H1	S1	F2	M2	R1	25	0.80	7.16	959	29	0.85	7.16	563
C3	H1	S1	F2	M2	R2		0.80				0.85		
C3	H1	S1	F2	M2	R3		0.80				0.85		
C3	H1	S1	F2	M2	R4		0.80				0.85		
C3	H1	S1	F2	M2	R5		0.80				0.85		
C3	H1	S1	F2	M3	R1	35	1.00	7.16	745	31	0.95	7.16	913
C3	H1	S1	F2	M3	R2		1.00				0.95		
C3	H1	S1	F2	M3	R3		1.00				0.95		
C3	H1	S1	F2	M3	R4		1.00				0.95		
C3	H1	S1	F2	M3	R5		1.00				0.95		

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P1 (m)	Humedad % gravimétrico P1	Compactación P1 (kPa)	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P2 (m)	Humedad % gravimétrico P2	Compactación P2 (kPa)
C3	H1	S2	F1	M1	R1	29	0.35	7.16	68	25	0.20	7.20	91
C3	H1	S2	F1	M1	R2		0.35						
C3	H1	S2	F1	M1	R3		0.35						
C3	H1	S2	F1	M1	R4		0.35						
C3	H1	S2	F1	M1	R5		0.35						
C3	H1	S2	F1	M2	R1	31	0.40	7.16	92	29	0.45	7.20	131
C3	H1	S2	F1	M2	R2		0.40						
C3	H1	S2	F1	M2	R3		0.40						
C3	H1	S2	F1	M2	R4		0.40						
C3	H1	S2	F1	M2	R5		0.40						
C3	H1	S2	F1	M3	R1	33	0.35	7.16	83	38	0.45	7.20	85
C3	H1	S2	F1	M3	R2		0.35						
C3	H1	S2	F1	M3	R3		0.35						
C3	H1	S2	F1	M3	R4		0.35						
C3	H1	S2	F1	M3	R5		0.35						
C3	H1	S2	F2	M1	R1	28	0.50	7.20	294	29	0.65	7.20	237
C3	H1	S2	F2	M1	R2		0.50						
C3	H1	S2	F2	M1	R3		0.50						
C3	H1	S2	F2	M1	R4		0.50						
C3	H1	S2	F2	M1	R5		0.50						
C3	H1	S2	F2	M2	R1	26	0.70	7.20	301	23	0.50	7.20	283
C3	H1	S2	F2	M2	R2		0.70						
C3	H1	S2	F2	M2	R3		0.70						
C3	H1	S2	F2	M2	R4		0.70						
C3	H1	S2	F2	M2	R5		0.70						
C3	H1	S2	F2	M3	R1	31	0.40	7.20	354	25	0.30	7.20	239
C3	H1	S2	F2	M3	R2		0.40						
C3	H1	S2	F2	M3	R3		0.40						
C3	H1	S2	F2	M3	R4		0.40						
C3	H1	S2	F2	M3	R5		0.40						

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P1 (m)	Humedad % gravimétrico P1	Compactación P1 (kPa)	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P2 (m)	Humedad % gravimétrico P2	Compactación P2 (kPa)
C3	H2	S1	F1	M1	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico					Combinación no efectiva en corte de plástico		
C3	H2	S1	F1	M1	R2								
C3	H2	S1	F1	M1	R3								
C3	H2	S1	F1	M1	R4								
C3	H2	S1	F1	M1	R5								
C3	H2	S1	F1	M2	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico					Combinación no efectiva en corte de plástico		
C3	H2	S1	F1	M2	R2								
C3	H2	S1	F1	M2	R3								
C3	H2	S1	F1	M2	R4								
C3	H2	S1	F1	M2	R5								
C3	H2	S1	F1	M3	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico	56	0.50	26.54	241	0.50		
C3	H2	S1	F1	M3	R2								
C3	H2	S1	F1	M3	R3								
C3	H2	S1	F1	M3	R4								
C3	H2	S1	F1	M3	R5								
C3	H2	S1	F2	M1	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico					Combinación no efectiva en corte de plástico		
C3	H2	S1	F2	M1	R2								
C3	H2	S1	F2	M1	R3								
C3	H2	S1	F2	M1	R4								
C3	H2	S1	F2	M1	R5								
C3	H2	S1	F2	M2	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico					Combinación no efectiva en corte de plástico		
C3	H2	S1	F2	M2	R2								
C3	H2	S1	F2	M2	R3								
C3	H2	S1	F2	M2	R4								
C3	H2	S1	F2	M2	R5								
C3	H2	S1	F2	M3	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico					Combinación no efectiva en corte de plástico		
C3	H2	S1	F2	M3	R2								
C3	H2	S1	F2	M3	R3								
C3	H2	S1	F2	M3	R4								
C3	H2	S1	F2	M3	R5								

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P1 (m)	Humedad % gravimétrico P1	Compactación P1 (kPa)	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P2 (m)	Humedad % gravimétrico P2	Compactación P2 (kPa)
C3	H2	S2	F1	M1	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico	31	37.82	73	0.70	0.70	37.82	73
C3	H2	S2	F1	M1	R2								
C3	H2	S2	F1	M1	R3								
C3	H2	S2	F1	M1	R4								
C3	H2	S2	F1	M1	R5								
C3	H2	S2	F1	M2	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico	40	40.00	26	0.55	0.55	40.00	26
C3	H2	S2	F1	M2	R2								
C3	H2	S2	F1	M2	R3								
C3	H2	S2	F1	M2	R4								
C3	H2	S2	F1	M2	R5								
C3	H2	S2	F1	M3	R1	38	30.91	88	38	0.50	0.50	36.36	20
C3	H2	S2	F1	M3	R2								
C3	H2	S2	F1	M3	R3								
C3	H2	S2	F1	M3	R4								
C3	H2	S2	F1	M3	R5								
C3	H2	S2	F2	M1	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico	31	37.82	73	0.70	0.70	37.82	73
C3	H2	S2	F2	M1	R2								
C3	H2	S2	F2	M1	R3								
C3	H2	S2	F2	M1	R4								
C3	H2	S2	F2	M1	R5								
C3	H2	S2	F2	M2	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico	40	40.00	26	0.55	0.55	40.00	26
C3	H2	S2	F2	M2	R2								
C3	H2	S2	F2	M2	R3								
C3	H2	S2	F2	M2	R4								
C3	H2	S2	F2	M2	R5								
C3	H2	S2	F2	M3	R1	33	45.09	195	29	1.20	1.20	45.09	195
C3	H2	S2	F2	M3	R2								
C3	H2	S2	F2	M3	R3								
C3	H2	S2	F2	M3	R4								
C3	H2	S2	F2	M3	R5								

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P1 (m)	Humedad % gravimétrico P1	Compactación P1 (kPa)	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P2 (m)	Humedad % gravimétrico P2	Compactación P2 (kPa)
C4	H1	S1	F1	M1	R1	31	0.50	7.20	145	31	0.50	7.20	178
C4	H1	S1	F1	M1	R2		0.50						
C4	H1	S1	F1	M1	R3		0.50						
C4	H1	S1	F1	M1	R4		0.50						
C4	H1	S1	F1	M1	R5		0.50						
C4	H1	S1	F1	M2	R1	33	0.50	7.20	145	30	0.40	7.20	171
C4	H1	S1	F1	M2	R2		0.50						
C4	H1	S1	F1	M2	R3		0.50						
C4	H1	S1	F1	M2	R4		0.50						
C4	H1	S1	F1	M2	R5		0.50						
C4	H1	S1	F1	M3	R1	30	0.20	7.20	191	38	0.45	7.20	142
C4	H1	S1	F1	M3	R2		0.20						
C4	H1	S1	F1	M3	R3		0.20						
C4	H1	S1	F1	M3	R4		0.20						
C4	H1	S1	F1	M3	R5		0.20						
C4	H1	S1	F2	M1	R1	28	0.50	7.20	250	33	0.50	7.20	283
C4	H1	S1	F2	M1	R2		0.50						
C4	H1	S1	F2	M1	R3		0.50						
C4	H1	S1	F2	M1	R4		0.50						
C4	H1	S1	F2	M1	R5		0.50						
C4	H1	S1	F2	M2	R1	34	0.50	7.20	263	24	0.40	7.20	411
C4	H1	S1	F2	M2	R2		0.50						
C4	H1	S1	F2	M2	R3		0.50						
C4	H1	S1	F2	M2	R4		0.50						
C4	H1	S1	F2	M2	R5		0.50						
C4	H1	S1	F2	M3	R1	30	0.20	7.20	337	29	0.45	7.20	314
C4	H1	S1	F2	M3	R2		0.20						
C4	H1	S1	F2	M3	R3		0.20						
C4	H1	S1	F2	M3	R4		0.20						
C4	H1	S1	F2	M3	R5		0.20						

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P1 (m)	Humedad % gravimétrico P1	Compactación P1 (kPa)	Profundidad de corte buscada (mm)	Altura P2 (m)	Humedad % gravimétrico P2	Compactación P2 (kPa)
C4	H1	S2	F1	M1	R1	26	0.50	7.20	118	30	0.50	7.20	134
C4	H1	S2	F1	M1	R2		0.50						
C4	H1	S2	F1	M1	R3		0.50						
C4	H1	S2	F1	M1	R4		0.50						
C4	H1	S2	F1	M1	R5		0.50						
C4	H1	S2	F1	M2	R1	30	0.50	7.20	107	34	0.40	7.20	119
C4	H1	S2	F1	M2	R2		0.50						
C4	H1	S2	F1	M2	R3		0.50						
C4	H1	S2	F1	M2	R4		0.50						
C4	H1	S2	F1	M2	R5		0.50						
C4	H1	S2	F1	M3	R1	29	0.20	7.20	92	38	0.45	7.20	132
C4	H1	S2	F1	M3	R2		0.20						
C4	H1	S2	F1	M3	R3		0.20						
C4	H1	S2	F1	M3	R4		0.20						
C4	H1	S2	F1	M3	R5		0.20						
C4	H1	S2	F2	M1	R1	29	0.50	7.20	175	23	0.50	7.20	145
C4	H1	S2	F2	M1	R2		0.50						
C4	H1	S2	F2	M1	R3		0.50						
C4	H1	S2	F2	M1	R4		0.50						
C4	H1	S2	F2	M1	R5		0.50						
C4	H1	S2	F2	M2	R1	28	0.50	7.20	192	25	0.40	7.20	168
C4	H1	S2	F2	M2	R2		0.50						
C4	H1	S2	F2	M2	R3		0.50						
C4	H1	S2	F2	M2	R4		0.50						
C4	H1	S2	F2	M2	R5		0.50						
C4	H1	S2	F2	M3	R1	28	0.20	7.20	238	23	0.45	7.20	149
C4	H1	S2	F2	M3	R2		0.20						
C4	H1	S2	F2	M3	R3		0.20						
C4	H1	S2	F2	M3	R4		0.20						
C4	H1	S2	F2	M3	R5		0.20						

Continúa tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Profundidad de corte buscada	Altura P1 (m)	Humedad % gravimétrico P1	Compactación P1 (kPa)	Profundidad de corte buscada	Altura P2 (m)	Humedad % gravimétrico P2	Compactación P2 (kPa)
C4	H2	S1	F1	M1	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico					Combinación no efectiva en corte de plástico		
C4	H2	S1	F1	M1	R2								
C4	H2	S1	F1	M1	R3								
C4	H2	S1	F1	M1	R4								
C4	H2	S1	F1	M1	R5								
C4	H2	S1	F1	M2	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico					Combinación no efectiva en corte de plástico		
C4	H2	S1	F1	M2	R2								
C4	H2	S1	F1	M2	R3								
C4	H2	S1	F1	M2	R4								
C4	H2	S1	F1	M2	R5								
C4	H2	S1	F1	M3	R1	65	1.00	36.72	196		Combinación no efectiva en corte de plástico		
C4	H2	S1	F1	M3	R2		1.00						
C4	H2	S1	F1	M3	R3		1.00						
C4	H2	S1	F1	M3	R4		1.00						
C4	H2	S1	F1	M3	R5		1.00						
C4	H2	S1	F2	M1	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico					Combinación no efectiva en corte de plástico		
C4	H2	S1	F2	M1	R2								
C4	H2	S1	F2	M1	R3								
C4	H2	S1	F2	M1	R4								
C4	H2	S1	F2	M1	R5								
C4	H2	S1	F2	M2	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico					Combinación no efectiva en corte de plástico		
C4	H2	S1	F2	M2	R2								
C4	H2	S1	F2	M2	R3								
C4	H2	S1	F2	M2	R4								
C4	H2	S1	F2	M2	R5								
C4	H2	S1	F2	M3	R1	Combinación no efectiva en corte de plástico					Combinación no efectiva en corte de plástico		
C4	H2	S1	F2	M3	R2								
C4	H2	S1	F2	M3	R3								
C4	H2	S1	F2	M3	R4								
C4	H2	S1	F2	M3	R5								

Termina tabla 2...

Cuchilla	Humedad	Suelo	Compactación	Masa de cuchilla	Repetición	Profundidad de corte buscada	Altura P1 (m)	Humedad % gravimétrico P1	Compactación P1 (kPa)	Profundidad de corte buscada	Altura P2 (m)	Humedad % gravimétrico P2	Compactación P2 (kPa)						
C4	H2	S2	F1	M1	R1	40	0.80	18.18	65	36	0.40	21.82	134						
C4	H2	S2	F1	M1	R2		0.75				0.40								
C4	H2	S2	F1	M1	R3		0.80				0.40								
C4	H2	S2	F1	M1	R4		0.80				0.40								
C4	H2	S2	F1	M1	R5		0.80				0.40								
C4	H2	S2	F1	M2	R1	36	0.30	22.54	111	44	0.50	16.00	63						
C4	H2	S2	F1	M2	R2		0.40				0.50								
C4	H2	S2	F1	M2	R3		0.40				0.50								
C4	H2	S2	F1	M2	R4		0.40				0.50								
C4	H2	S2	F1	M2	R5		0.40				0.50								
C4	H2	S2	F1	M3	R1	36	0.30	18.18	98	40	0.40	13.09	136						
C4	H2	S2	F1	M3	R2		0.30				0.40								
C4	H2	S2	F1	M3	R3		0.30				0.40								
C4	H2	S2	F1	M3	R4		0.30				0.40								
C4	H2	S2	F1	M3	R5		0.30				0.40								
C4	H2	S2	F2	M1	R1	29	0.60	22.54	321	29	0.60	21.82	441	36	25.45	337			
C4	H2	S2	F2	M1	R2												0.60	0.60	
C4	H2	S2	F2	M1	R3												0.60	0.60	
C4	H2	S2	F2	M1	R4												0.60	0.60	
C4	H2	S2	F2	M1	R5												0.60	0.60	
C4	H2	S2	F2	M2	R1	30	0.80	21.82	441	36	0.80	21.82	441	36	1.20	25.45	337		
C4	H2	S2	F2	M2	R2													0.80	0.80
C4	H2	S2	F2	M2	R3													0.80	0.80
C4	H2	S2	F2	M2	R4													0.80	0.80
C4	H2	S2	F2	M2	R5													0.80	0.80

Apéndice VI

APÉNDICE VI						
EMPRESAS FABRICANTES DE TRASPLANTADORAS.						
	Razón Social	Dirección	Tel. / Fax	Ciudad	País	Dirección electrónica / correo electrónico
1.	Maquinaria Agrícola traibuenas S. L.	CTRA. AIBAR 41 31314 SANTACARA	948 74.66.02 / 948 74.68.32	Navarra	España	http://www.matsl.com/es traibuenas@teleline.es
2.	Semirec. S.R.L.	Finca Las Carrascas, s/n	968 13 89 88 / 968 13 89 87	Murcia (Cartagena)	España	http://www.semirec.com/ info@semirec.com
3.	Jaulent Industrie	Chemin des Poulidets 1475, 82000	33 05 63 67 81 84 / 33 05 63 67 80 30	Montauban	Francia	http://www.jaulent.com info@jaulent.com
4.	GREGOIRE-BESSON	49230	(33) 241 647 267 / (33) 241 646 773	MONTFAUCON – MONTIGNÉ	Francia	http://www.gregoire-besson.com/es/ contactfr@gregoire-besson.fr
5.	Kverneland France	55 avenue Ampère BP 70149	33 02 38 52 43 00 / 33 02 38 52 42 01	Jean de Braye Cedex FR-45803 Saint	Francia	http://www.kvernelandgroup.com anne.sophie.lecocq@kvernelandgroup.com
6.	Regero S. A.	16 rue Allemagne BP 73427, 44334	33 02 40 49 38 20 / 33 02 40 93 06 85	Nantes Cedex 3	Francia	
7.	Opico	P. O. Box 849 Mobile, Alabama 36601	1 917 464 7982 / 1 347 710 1058	Alabama	USA	http://www.opico.com/ info@opico.com

8.	Duijndam Machines	BV / 2e Tochtweg 127	(0031) 180 - 632088 / (0031) 180 – 633022	Nieuwerkerk a/d IJssel	Noruega	http://www.duijndam.nl/info@duijndam.nl
9.	DOBMAC Agricultural Machinery	PO Box 93, Ulverstone, 7315	(03)6425 5533 / (03) 6425 5847	ULVERSTONE, Tasmania	Australia	http://www.dobmac.com.au/dobmac@dobmac.com.au
10	Holland Transplanter Co	510, Holland, MI 49422-1527	1 616 3923579 / 1 616 3927996		USA	http://www.transplanter.com/hldtrans@iserv.net
11	Ribouleau Monosem	Immeuble Permaphone, 76 Avenue des Champs Elysées, 75008	33 549 815000 / 33 549 720970	Paris	Francia	http://www.monosem.com/export.sales@monosem.com
12	Machines Simon	Ateliers de Claire Fontaine, 27 Route de la Loire, 44450	33 02 40 33 32 60 / 33 02 40 33 32 65	La Chapelle Basse Mer.	Francia	http://www.machines-simon.com/info@machines-simon.com
13	CHECCHI & MAGLI Srl	Via Guizzardi 38 ,40054	39 (0) 51 800253 / 39 (0) 51 6920611	Budrio, Bologna	Italia	http://www.hecchiemagli.com/info@hecchiemagli.com
14	Ferrari Costruzioni	via Valletta – 46040	0376 819342 / 0376 840205	Guidizzolo, Mantova	Italia	http://www.ferraricostruzioni.com/
15	SFOGGIA sowing and planting technologies	Via Feltrina sud, 170 – 31030	39.0423.24041-42 / 39.0423.24014	Biadene di Montebelluna (TV)	Italia	http://www.sfoggia.com/info@sfoggia.com
16	Dema snc.	Via dell'Artigianato 5, 35012	+39 (0) 49 5792785 / 39 (0) 49 5792785	Camposampiero (PD)	Italia	http://www.demaseminatrici.it/info@demaseminatrici.it
17	Fedele	Via Follani 120/A, 66034	39 (0) 872 40128 / 39 (0) 872 43201	Lanciano (CH)	Italia	http://www.fedelemario.com/info@fedelemario.com

18	Mas Horticulture.	Via Valli 18 ,35020	39 (0) 49 5349717 / 39 (0) 49 5349999	Candiana (PD)	Italia	http://www.masitaly.com maserv@interbusiness.it
19	SPAPPERI ALDO & F.LLI Snc.	Via P.Ercolani 1, 06010 Secondo	39 (0) 75 8577156 / 39 (0) 75 8578848	Città di Castello, (PG)	Italia	http://www.spapperi.it info@spapperi.it
20	SPEDO F.LLI di Spedo Romenio & C. Snc	Via Polesine , 37043	0442-92025 / 0442- 675088	Castagnaro (VR)	Italia	http://www.spedo.it info@spedo.it
21	C.M. MORGILLO DI FRANCESCO PASCARELLA Sas	Via San Marco snc, 81028	0823-758232 / 0823-758232	Santa Maria a Vico (CE)	Italia	franpas@hotmail.com
22	HORTUS Srl	Viale dell'Artigianato 18/20, 35021	049-9515365 / 049- 9515111	Agna (PD)	Italia	hortussrl@tin.it

Apéndice VII

APÉNDICE VII. PATENTES DE TRASPLANTADORAS

Patentes de trasplantadoras para plantas a raíz desnuda				
Patente	País	Título	Fecha	Descripción
US 2 237 196	USA	Gripper operating mechanism for transplanting machines	01/04/1941	Cadena con pinzas prensoras para máquinas trasplantadoras.
US 4 167 910	USA	Transplanting apparatus for depositing plants directly from a supply tape into a inclined furrow	18/09/1979	Una cinta contiene marcas a distancias regulares donde manualmente se coloca la planta, que es llevada hasta el suelo.
US 4 408 550	USA	Transplanting implement.	07/12/1981	Trasplantadora de plantas en cepellón o a raíz desnuda, el principio de trabajo es aquel de pinzas prensoras.
US 4 455 950	USA	Transplanting apparatus utilizing a disc mechanism for transferring plants from a supply tape to the furrow	26/06/1984	Una cinta contiene marcas a distancias regulares donde se coloca la planta, que es llevada hasta un par de discos flexibles. A su vez estos giran y transportan la planta hasta el suelo.
EP 0 286 624	UE	Verfahren zur anzucht von pflanzen in töpfen.	17/03/1988	Trasplantadora de plantas a raíz desnuda que forma el cepellón antes de ser colocado en el suelo. Agregando; el alveolo, suelo y líquido.
ES 2 011 492	España	Plantadora de Hortalizas	16/01/1990	Disco de pinzas prensoras radiales donde se coloca manualmente la planta. Contiene elemento para agregar riego.
EP 0 457 679	UE	Machine à planter ou à repiquer	21/11/1991	Cintas flexibles que presionan la planta a raíz desnuda proporcionada por el operario y la depositan en el surco abierto.
ES 2 096 776	España	Aparato para insertar fibras alargadas de hierba artificial en la tierra.	17/08/1994	Aparato para insertar fibras alargadas de hierba artificial en la tierra.

Patentes de trasplantadoras para plantas en papel biodegradable.				
Patente	País	Título	Fecha	Descripción
US 4 132 337	USA	Continuous paper cylinder assembly and method of separating the same and transplanting apparatus for the same	02/01/1979	Un mecanismo compuesto de rodillos toma la cadena de cepellones y por medio de tracción la rompe, enviando uno a uno los cepellones a través de un tubo aductor que los coloca en el suelo a distancias regulares.
US 4 597 343	USA	Continuous paper tube potted seedlings separation transplanting planting machine	01/07/1986	Un arreglo de mecanismo confiere el avance intermitente a la cadena de papel, en su extremo un par de pinzas prensoras coinciden con el avance que le proporciona un disco, las cuales toman la planta y la separan por tracción. Finalmente al llegar al suelo abierto por una reja la sueltan y un par de ruedas prensoras completan la labor.
US 4 829 916	USA	Transplanting machine	16/05/1989	El mecanismo contiene una serie de agujas que se incrustan y por tracción separan el cepellón de la cadena de papel, posteriormente la serie de agujas conteniendo las plantas dan un giro y las colocan en el suelo abierto por una reja.
US 5 996 513	USA	Machine for transplanting seedlings	07/12/1999	La bandeja esta posicionada en plano inclinado respecto del suelo, en el extremo un mecanismo formado por rodillos y cintas toman la cadena de plantas y la separan una a una por fricción y tracción depositándolas en el terreno a intervalos regulares para lograr la distancia entre plantas deseada.
US 6 305 303	USA	High speed transplanter for seedlings attached to tape	23/10/2001	De funcionamiento similar a la anterior. Contiene un mecanismo que regula la tensión en la cadena de papel biodegradable evitando la rotura de la misma. Alcanza velocidades de trabajo de hasta 7 km/h.

Patentes de trasplantadoras y mecanismos de distribución de plantas contenidas en cepellón					
	Patente	País	Título	Fecha	Descripción
1.	US 3 943 863	USA	Planting machine for planting plants in cold.	16/05/1976	Un tubo aductor recibe la planta proporcionada manual o mecánicamente, este perfora el suelo con cobertura de polietileno o no, por medio de unas valvas que a la profundidad adecuada se abren y dejan la planta en el interior del suelo.
2.	US 4 106 415	USA	Planting setting machine.	15/08/1978	Cinta en plano inclinado, en el extremo, un disco contiene gran cantidad de pequeños dedos que toman las plantas por presión lateral dejándolas en el suelo a intervalos regulares.
3.	US 4 111 135	USA	Planting machine.	05/09/1978	El operario coloca una a una las plantas dentro de un cilindro con perfil cortante, el cual, sigue una trayectoria determinada por arreglo de unas barras introduciéndose en el suelo y dejando la planta dentro del mismo.
4.	US 4 156 395	USA	High speed planting method and machine.	29/05/1979	Las plantas son expulsadas por la parte inferior de la bandeja, hacia una cinta de movimiento horizontal que alimenta una cadena con movimiento vertical, la cual, en sus eslabones contiene un soporte para las mismas a intervalos regulares, por último se depositan en caída libre en el surco abierto por la reja.
5.	US 4 182 247	USA	Method and apparatus for crop transplanting.	01/08/1980	Una serie de mecanismos se encargan de cavar hoyos en el terreno de asiento, un inyector agrega líquido al sitio donde manualmente un operario colocará la planta.
6.	US 4 278 035	USA	Machine for planting containerized tree and shrub seedlings.	14/07/1981	Un pistón hidráulico cava un hoyo en el suelo al aviso de señales eléctricas, un par de válvulas que dejan agregan líquidos para finalmente colocar la planta con cepellón, todo hidráulicamente.
7.	US 4 289 080	USA	High speed transplanter.	15/09/1981	Cinta a plano inclinado que en el extremo, contiene un mecanismo para identificar fallos en nascencia y un disco con pinzas prensoras laterales encargado de tomar las plantas y colocarlas en el suelo a intervalos regulares.
8.	US 4 307 827	USA	Method and device for feeding plant cells in a planting machine.	29/12/1981	Mecanismo alimentador de plantas de cepellón a mecanismo de distribución. Una serie de elementos cortantes separa y coge las plantas unidas entre sí y las alimenta a dispositivos distribuidores de planta al terreno de asiento.
9.	SU 893 157	Japón	Machine for planting briquettes seedlings.	30/12/1981	Las plantas son depositadas en un tubo aductor que las guía hasta el suelo abierto por una reja, una par de cintas controlan la posición y distancia entre plantas.

10.	US 4 342 270	USA	Digging and planning machine.	03/08/1982	Mecanismo que cava un hoyo y planta. Un sensor mide la resistencia a la penetración y cuando esta es adecuada coloca la planta, de lo contrario realiza otra perforación cercana a la zona.
11.	US 4 355 588	USA	Transplanting machine.	26/10/1982	Un carrusel con plantas individualizadas alimenta una serie de pinzas prensoras colocadas en una cadena que gira soportada sobre unas catarinas, el arreglo entre ellas puede ser ajustable para dar el avance necesario de la distancia de plantación.
12.	US 4 388 035	USA	Dibble tube soil plug planter	14/06/1983	Los cepellones son colocados manualmente sobre un alimentador vertical que en su extremo tiene un pistón, en cada ciclo de trabajo penetra el suelo y deja el cepellón.
13.	FR 2 571 208	Francia	Procédé de préhension et de transfert de produits fragiles au de produits accessibles uniquement par le haut.	05/10/1984	Mecanismo que contiene un par de dedos que se incrustan en el cepellón para poder retirarlo de la bandeja. Característica: describe el funcionamiento por medios neumáticos de los dedos que se incrustan en el cepellón
14.	SU 1 207 414	Japón	Machine for planting seedlings with closed root system.	30/01/1986	Trasplantadora de plantas en cepellón. (Patente en idioma Japonés)
15.	US 4 616 578	USA	Automatic method and apparatus for transplanting crops.	14/10/1986	Dos mordazas crean una cavidad en el suelo, en un segundo acto dos boquillas inyectan líquidos y agua respectivamente, en un tercer acto un pistón neumático empuja la planta desde la parte superior y la deposita en la cavidad debido a que el fondo de la bandeja esta abierto, finalmente un par de rejillas realizan el aporcado.
16.	FR 2 596 237	Francia	Machine for planting on a layer and on plastic.	10/02/1987	Antes de colocar la cobertura de polietileno una reja abre surco deja una cavidad donde posteriormente se realiza la perforación por una taza a presión, un disco con pinzas prensoras coloca el cepellón a través de la perforación.
17.	US 4 644 880	USA	Method and apparatus for transplanting crops.	24/02/1987	Trasplantadora para plantas en cepellón. Un pistón neumático se incrusta en el cepellón y arrastra la planta a través del fondo de la bandeja, posteriormente la coloca en el surco abierto por una reja y otra termina la labor. Características: No tiene ruedas de soporte, un patín corre sobre el suelo, por lo que la sincronía de plantación esta dictada por otros elementos
18.	EP 0 283 701	UE	Method and device for the planting of plants.	11/02/1988	Vasos que giran en torno a un eje vertical con deposición de la planta en un tubo aductor y expulsión mecánica de la misma.

19.	US 4 765 260	USA	Machine for planting seedlings.	23/08/1988	Una cadena contiene en sus eslabones a intervalos regulares vasos que alojan las plantas colocadas una a una, al avance de la misma una serie de cilindros colocados en la periferia de un disco con brazos radiales se introducen expulsando poco a poco el cepellón, siendo posible de esta forma perforar y colocar cuidadosamente la planta, inclusive, a través de coberturas de polietileno.
20.	EP 0 313 530	UE	A planting machine.	15/09/1988	Las plantas son proporcionadas por el operario en un plano inclinado y en el extremo un elemento mecánico sincronizado con el avance expulsas las plantas hacia el suelo.
21.	SU 1 463 161	Japón	Machine for planting seedlings of strawberry.	07/03/1989	Trasplantadora manual de cepellones a surco abierto.
22.	SU 1 464 938	Japón	Machine for planting seedlings with covered root system.	15/03/1989	Un tubo con perfil cortante y trayectoria predeterminada se introduce en el suelo y abre una valva para depositar la planta que previamente le fue suministrada manualmente.
23.	EP 0 266 643	UE	Transplanting machine.	12/12/1989	Vasos que giran en torno a un eje horizontal y que en el fondo contiene unas valvas que cortan la cobertura de polietileno y cavan un hoyo para colocar la planta.
24.	US 4 886 002	USA	Transplanting machine.	12/12/1989	Vasos que giran en torno a un eje horizontal y que en el fondo contiene unas valvas que perforan la cobertura de polietileno colocada previamente a través de ellas se coloca la planta con cepellón
25.	EP 0 457 906	UE	Setting machine.	28/12/1989	El principio de funcionamiento es por succión de la parte inferior de la bandeja posteriormente a través de conductos las plantas son llevadas hasta un mecanismo que hace un hoyo en el suelo depositando la planta.
26.	ES 2 016 685	España	Máquina plantadora automática con dosificador de plantas por aspiración	16/11/1990	Trasplantadora que toma plantas desde un depósito por método de succión.
27.	US 4 970 972	USA	Seedling planting machine.	20/11/1990	Las plantas son expulsadas por dedos neumáticos, desde la parte inferior de la bandeja, sobre una cinta transportadora que alimenta un par de discos flexibles que las toman por la parte del cepellón, este a su vez, alimenta a otro par de discos flexibles que las toman por la parte aérea y las colocan en el terreno de asiento.
28.	US 5 954 002	USA	Device for the fast pricking out of plants.	21/09/1991	Mecanismo que toma las plantas por inserción de dedos en la parte lateral del cepellón que previamente ha sido inmovilizado por

					un pequeño cilindro confeccionado para tal labor.
29.	EP 0 485 015	UE	Driving unit for agricultural transplanting machines.	13/05/1992	Vasos que giran en torno a un eje vertical con deposición de la planta en un tubo aductor, este, realiza un hoyo en el suelo por medio de unas valvas mecánicas.
30.	US 5 160,235	USA	Apparatus for relocating arranged plants.	03/11/1992	Mecanismo de pinzas prensoras que toman plantas con cepellón desde la bandeja que las contiene para alimentar mecanismos distribuidores de trasplantadoras.
31.	US 5 215 019	USA	Transplanting equipment.	01/06/1993	Motocultor trasplantador. Las plantas son tomadas desde la bandeja por la incrustación de unas agujas y posteriormente otro mecanismo las toma desde estas agujas y las coloca en el suelo abierto por una reja.
32.	EP 0 550 821	UE	Verfahren und einrichtung zum aufzichen und auspflazen von setzlingen.	14/07/1993	Trasplantadora de cinta en plano inclinado que en el extremo inferior las plantas individualizadas son expulsadas mecánicamente.
33.	WO 94/03040	Australia	Apparatus for automatically planting seedling taken from a hard seedling tray.	17/02/1994	Las plantas son expulsadas desde la bandeja mecánicamente hacia una cinta transportadora que alimenta un distribuidor de discos flexibles.
34.	EP 0 612 466	UE	Module pour planteuse de mini mottes cultivées dans des plateaux alvéoles.	23/02/1994	Las plantas son expulsadas mecánicamente desde la bandeja hacia una cinta transportadora que las deposita en caída libre sobre una reja abre surco.
35.	EP 0 596 841	UE	A row distributor for the transplanting of small plants born in cubical sods of compressed peat or synthetically substratum of the dutch kind.	11/05/1994	Trasplantadora de cinta continua para plantas con cepellón, en el extremo inferior del mismo un expulsor rotatorio mecánico las deposita en el suelo.
36.	GB 2 280 832	UK	A machine for preparing and planting cuttings.	15/02/1995	Trasplantadora para árboles u hortalizas de alimentación manual, las dimensiones del material vegetal a trasplantar deben ser bastas
37.	FR 2 737 642	Francia	Machine a repiquer, dans des godets ou des pots, des plants sur mini mottes contenues.	11/08/1995	Las plantas son tomadas por incrustación de dedos sobre la turba, estos se mueven sobre un eje que les da la separación necesaria para colocarlos en el mecanismo distribuidor.
38.	ES 1 030 858	España	Máquina para hortalizas y similares	16/10/1995	Trasplantadora que cava el hoyo y agrega una cantidad de líquido para posteriormente colocar la planta en cepellón de forma manual.
39.	ES 2 100 110	España	Apero plantador continuo	01/06/1997	Sistema plantador que se desplaza en el plano horizontal, siendo

			de hortalizas en caballones acoplable a motocultores de dos ruedas		posible atender un mismo surco con doble fila en el desplazamiento de ida y retorno respectivamente.
40.	EP 0 653 907	UE	Apparatus for automatically planting seedlings taken from a hard seedling tray.	14/10/1997	Marco porta-bandejas para plantas en cepellón, las cuales son expulsadas desde la bandeja mecánicamente hacia una cinta transportadora que alimenta un distribuidor de discos flexibles.
41.	ES 2 165 539	España	Aparato de transporte de plántulas para máquina de trasplante	12/11/1997	Mecanismo de alimentación de bandejas automático, donde las plantas contenidas en turba son extraídas de la misma forma
42.	ES 2 114 367	España	Máquina para plantar hortalizas o productos similares	16/05/1998	Trasplantadora que prepara el hoyo y agrega una cantidad de líquido para posteriormente colocar la planta en cepellón de forma manual.
43.	US 5 765 491	USA	Seedling transfer apparatus and method.	16/06/1998	Las plantas son expulsadas desde la bandeja por presión hacia un tubo aductor que las deposita en el terreno de asiento.
44.	WO 98/28965	Australia	Field transplanter.	09/07/1998	Contiene un mecanismo que expulsa una fila de plantas desde la parte inferior de la bandeja, una serie de puntas se incrustan en la turba y las coloca en una cinta que gira en el plano horizontal llevándolas hacia un tubo aductor, finalmente un expulsor mecánico completa la labor.
45.	EP 0 931 441	UE	Procédé et installation de transplantation de plants en mottes.	27/01/1999	Un pistón neumático contiene en su extremo dedos perforadores que se incrustan en la turba y portan la planta hacia un distribuidor mecánico.
46.	ES 1 044 131	España	Trasplantadora automática de hortalizas	01/03/2000	Cintas prensoras que llevan la planta suministrada automáticamente desde la bandeja flexible para alimentar un par de discos que realizan la plantación.
47.	US 6 125 776	USA	Device for digging planting holes for bedding plants and the like.	03/10/2000	Mecanismo para cavar hoyos por medio de una taza que gira en el plano horizontal y recorre una distancia vertical perforando el suelo, a una profundidad limitada por el mismo sistema, donde posteriormente se colocará la planta.
48.	ES 1 045 883	España	Máquina plantadora perfeccionada	16/10/2000	Trasplantadora automática que realiza la plantación al aviso de señales electrónicas por medio de un pistón neumático que contiene un vaso donde la planta le fue proporcionada por unas pinzas prensoras
49.	EP 1 222 846	UE	Machine de Plantation de plants en mottes, à	15/01/2001	Cinta de avance en plano inclinado y expulsor de pinzas prensoras laterales que toman la planta y sincronizadamente la depositan en

			cadence élevée.		el suelo.
50.	EP 1 077 023	UE	Automatic vegetable plant transplanter	21/02/2001	Una serie de pinzas extrae las plantas de la bandeja flexible y alimenta unas cintas prensoras que llevan la planta suministrada a un par de discos flexibles que realizan la plantación.
51.	US 6 212 821	USA	Automatic plant selector.	10/04/2001	Mecanismo alimentador que contiene un par de pinzas prensoras que una a una toman la planta desde la bandeja, tiene la capacidad de suplir la ausencia de plantas tomando de una bandeja auxiliar la planta complementaria.
52.	US 6 394 010	USA	Carousel type distribution unit for handling and planting vegetable species.	28/05/2002	Mecanismo distribuidor de vasos que giran en torno a un eje vertical y en el fondo contienen un par de valvas que abren automáticamente y dejan caer la planta, que le fue suministrada por un operario, sobre un par de tubos que alimentan dos líneas de plantado.
53.	US 6 539 883	USA	Handling and planting plants.	01/04/2003	Expulsor mecánico de plantas que son suministradas hasta la reja abre surco, esta invención mejora la eficiencia de expulsión y controla la profundidad del cepellón.