

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INSTITUTO DE MANEJO Y ECONOMIA FORESTAL**

**CAMBIOS FISICO-MECANICOS DE DOS SUELOS
DE TEXTURA FINA, POR EFECTO DEL MADEREO
CON TRACCION ANIMAL Y MECANIZADA.**

Profesor Guia:

JORGE GAYOSO AGUILAR

**Tesis presentada como parte de los
requisitos para optar al titulo de
Ingeniero Forestal.**

Manuel J. Monrroy Alvarez

2563

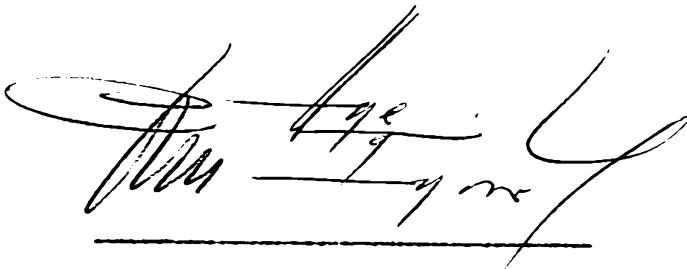
VALDIVIA — CHILE

1981

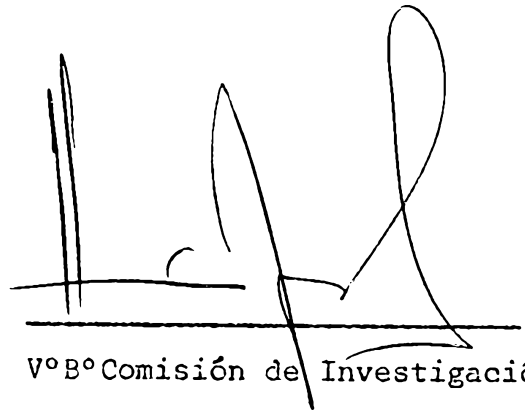
**BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL**

CALIFICACION COMISION INFORMANTE

	<u>Nota</u>
Profesor Guía : Sr. Jorge Gayoso A.	6,5
Profesor Informante: Sr. Achim Ellies Sch.....	6,5
Profesor Informante: Sr. Juan Schlatter V.....	5.0



VºBº Profesor Guía



VºBº Comisión de Investigación

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

AGRADECIMIENTOS

Es un agrado para el autor expresar su gratitud:

- En forma muy especial al Sr. Jorge Gayoso A., profesor patrocínante, por su preocupación, orientación y apoyo en el desarrollo de la presente tesis.
- A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de este estudio.

INDICE DE MATERIAS

1.	<u>INTRODUCCION</u>	Pág. 1
2.	<u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	4
2.1.	Los suelos	4
2.2.	Mecanización en el madereo	7
2.3.	Epocas de extracción	11
2.4.	Efecto sobre el suelo	12
2.5.	Efecto sobre las plantas	16
2.6.	Efecto sobre las aguas	20
2.7.	Condiciones del terreno	21
3.	<u>MATERIAL Y METODO</u>	26
3.1.	Material	26
3.1.1.	Ubicación del estudio	26
3.1.2.	Suelos	27
3.1.3.	Clima	27
3.1.4.	Situaciones de muestreo	28
3.1.5.	Elementos de madereo	28
3.1.6.	Obtención de plantas de P.insigne	29
3.2.	Método	29
3.2.1.	Determinaciones físico-hídricas	30
3.2.1.1.	Densidad real	30
3.2.1.2.	Densidad aparente	30
3.2.1.3.	Porosidad	30

	Pág.
3.2.1.4. Humedad	31
3.2.1.5. Granulometría	31
3.2.1.6. Curvas de retención de humedad	31
3.2.1.7. Límites de Atterberg	32
3.2.2. Propiedades mecánicas	32
3.2.2.1. Ensayo edométrico	33
3.2.2.2. Módulo de penetración	37
3.2.3. Parámetros de estabilidad	41
3.2.3.1. Variación del Diámetro Medio Textural	42
3.2.3.2. Coeficiente de Desuniformidad	42
3.2.4. Determinación de las modificaciones en el crecimiento de plantas establecidas y superficie transitada.	44
3.2.4.1. Diagnóstico de plantas establecidas.	45
3.2.4.2. Cuantificación del área alterada por madereo.	46
3.2.4.3. Diseño de un modelo de accesibilidad fina.	48
4. <u>PRESENTACION E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS</u>	53
4.1. Propiedades físico-hídricas.	53
4.1.1. Análisis de las propiedades físicas de los suelos inalterados.	53
4.1.2. Variación de las propiedades físicas en las diferentes situaciones de madereo.	57

	Pág.
4.1.3. Determinaciones de compactación en las diferentes situaciones de madereo.	61
4.1.4. Propiedades hídricas de los suelos del estudio.	65
4.2. Propiedades mecánicas.	67
4.2.1. Análisis de parámetros mecánicos obtenidos a partir del ensayo de consolidación.	67
4.2.2. Determinaciones a partir del penetrómetro.	80
4.2.3. Parámetros de estabilidad	82
4.2.3.1. Variación del diámetro medio textural	82
4.2.3.2. Coeficiente de Desuniformidad	84
4.3. Modificaciones causadas por el madereo	86
4.3.1. Diagnóstico de plantas establecidas.	86
4.3.2. Cuantificación del área alterada y tipo de daño por situación de madereo.	90
4.3.2.1. Análisis del sector I de madereo con tractor Unimog y madereo con bueyes.	91
4.3.2.2. Análisis del sector II correspondiente al madereo con articulado.	97
4.3.2.3. Análisis del sector IV con madereo combinado, articulado y bueyes.	100
4.3.2.4. Resumen del análisis de la superficie alterada por madereo.	104

	Pág.
4.4. Diseño de un modelo teórico de <u>accesibilidad</u> fina.	106
4.4.1. Presentación del modelo de <u>accesibilidad</u> fina y las variaciones que se <u>pre</u> sentan en él de acuerdo a las <u>situa</u> - ciones de terreno.	106
4.4.2. Aplicación del modelo.	108
4.4.3. Discusión del modelo	110
5. <u>CONCLUSIONES</u>	113
6.- <u>RESUMEN-SUMMARY</u>	117
7. <u>PROYECCIONES DEL ESTUDIO</u>	121
8. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	122

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

	Pág.
CUADRO 1. Algunas propiedades físicas de los suelos trumao y rojo arcilloso.	6
CUADRO 2. Distancia de arrastre por equipo de madereo.	10
CUADRO 3. Variaciones en la densidad aparente y porosidad provocadas por compactación y aflojamiento de tres suelos de textura fina.	14
CUADRO 4. Efectos en el establecimiento de plantas, en diferentes suelos por tratamientos de compactación y aflojamiento.	18
CUADRO 5. Efecto en densidad aparente, infiltración y espacios con aire en diferentes situaciones de madereo.	23
FIGURA 1. Relación entre el aumento de densidad aparente con el número de pasadas de vehículo de madereo.	24
CUADRO 6. Tensiones elegidas para la distribución de los poros del suelo.	32
FIGURA 2. Edómetro de anillo flotante, utilizado en los ensayos de consolidación.	34

	Pág.
FIGURA 3. Diagrama que indica la construcción gráfica usada comúnmente para determinar el valor máximo de la presión de consolidación.	37
FIGURA 4. Penetrómetro T VA	38
FIGURA 5. Representación gráfica de los esfuerzos que producen las deformaciones o fallas, mediante la circunsferencia de Mohr.	39
CUADRO 7. Sectores y sistemas de maderreo.	46
CUADRO 8. Coeficientes de corrección, por planificación y topografía, al modelo Base de accesibilidad fina.	51
CUADRO 9. Valores medios de densidad real, aparente, porosidad y límites de Atterberg de los suelos inalterados.	53
CUADRO 10. Valores medios de las propiedades físicas obtenidos por situación de maderreo	58
CUADRO 11. Efecto de la compactación en propiedades físico-mecánicas del suelo por situación de maderreo.	62
CUADRO 12. Propiedades hídricas de los suelos inalterados y compactados del estudio.	66
CUADRO 13. Valores medios de parámetros mecánicos.	68
CUADRO 14. Reducción del espesor del suelo a causa de esfuerzos provocados por diferentes alternativas de maderreo.	75

	Pág.
CUADRO 15. Efecto de la repetición de cargas en la relación de vacíos.	77
CUADRO 16. Valores medios de los parámetros de estabilidad.	83
FIGURA 6. Variación del diámetro medio textural a partir de las curvas granulométricas con y sin dispersante para Los Pinos y Los Ulmos.	83
FIGURA 7. Coeficiente de desuniformidad y parábola de Fuller a partir de las curvas granulométricas de los suelos del estudio.	85
CUADRO 17. Diferencia de crecimiento en plantas de Pino insigne (<u>Pinus radiata</u> D. Don) en suelos con diferente intensidad de uso.	87
FIGURA 8. Comparación de plantas de 4 años en condiciones de suelo inalterado y compactado.	88
CUADRO 18. Superficie alterada en Sector I por madereo con tractor Unimog.	91
FIGURA 9. Presentación gráfica del daño por madereo con Unimog en el Sector I.	92
CUADRO 19. Superficie alterada en Sector I por madereo con bueyes.	94
FIGURA 10. Diagrama de la superficie alterada por bueyes en Sector I.	96

	Pág.
CUADRO 20. Superficie alterada en Sector II por madereo con tractor articulado.	98
FIGURA 11. Gráfico del daño por madereo con trac- tor articulado en Sector II.	99
CUADRO 21. Superficie alterada por articulado y bueyes en Sector IV.	101
FIGURA 12. Representación gráfica de la superficie alterada por madereo con articulado y bueyes en sector IV.	102
CUADRO 22. Superficie alterada por articulado en Sector IV.	103
FIGURA 13 Gráfico de la superficie alterada por madereo con articulado en Sector IV	104
FIGURA 14. Gráfico que representa el resumen de la superficie alterada por los diferen tes elementos y situaciones de madereo.	105
CUADRO 23. Modelo Base de accesibilidad fina.	107
CUADRO 24. Variaciones al modelo Base.	107

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1. Planos de los rodales utilizados en el estudio
- ANEXO 2. Especificaciones técnicas de los elementos de madereo.
- ANEXO 3. Ensayo de penetración con agujas 2 y 4 y coe
ficiente de variación del ensayo.
- ANEXO 4. Tabla de corrección por pendiente para el mode
lo de accesibilidad fina.
- ANEXO 5. Curvas granulométricas típicas de los suelos
del estudio y sistema de clasificación de suelo.
- ANEXO 6. Tabla de compresibilidad y plasticidad.
- ANEXO 7. Curvas típicas de humedad de los suelos inalte
rados y compactados.
- ANEXO 8. Curvas típicas de esfuerzo de formación y de
carga y descarga, determinadas a partir del en
sayo de consolidación.
- ANEXO 9. Factores de conversión al sistema internacional
de medidas.

1. INTRODUCCION.

El óptimo crecimiento de las plantas se encuentra considerablemente influenciado por la estructura que posee el suelo en el cual se desarrollan. Esta estructura, relacionada directamente con las propiedades físico-mecánicas del suelo tales como aireación, compactación, relaciones de agua y temperatura, además de la interacción de estos factores, puede ser radicalmente alterada por su manejo.

En la actualidad el desarrollo de maquinaria pesada utilizada en las prácticas forestales, permite la intervención de los bosques durante gran parte del año, realizándose en algunas partes del país bajo condiciones de extrema humedad y por lo tanto de extrema susceptibilidad al daño.

Las propiedades del suelo sufren severas modificaciones con el madereo. Los efectos primarios son compactación y enlodamiento del suelo, lo cual reduce la porosidad y capacidad de almacenar agua.

Antecedentes cuantitativos sobre características del suelo por efectos de la compactación y las posibles consecuencias en los bosques, no han recibido mucha atención - en las investigaciones como la han tenido para las tierras de cultivo.

Estudios realizados especialmente en Estados Unidos, han concluido que el establecimiento de plantas y el crecimiento son seriamente retardados por las propiedades físicas desfavorables del suelo en áreas expuestas a un pesado tráfico de madereo.

El objeto de este trabajo es conocer y cuantificar las modificaciones del suelo, que se producen en diferentes situaciones de madereo, mediante el análisis de las propiedades físico-mecánicas de éste, y la evaluación de la superficie alterada. También se analizan algunas diferencias significativas en el desarrollo de plantas establecidas en suelos similares con distinto grado de perturbación en su estructura, mediante la mensura de las variables de crecimiento, altura y diámetro.

De acuerdo a estos objetivos generales se obtienen parámetros que permiten adecuar el uso mecanizado de extracción o aconsejar algunos tratamientos culturales con el fin de restaurar el suelo a su estado productivo.

Los suelos considerados, corresponden a dos suelos de textura fina ubicados en la Cordillera de la Costa en la provincia de Valdivia.

Las faenas de explotación que se realizan en los pre

3.-

Los Pinos y Los Ulmos, pertenecientes a la Universidad Austral de Chile y administrados por la Facultad de Ciencias Forestales, facilitaron la realización del estudio.

Los antecedentes de este estudio se obtuvieron entre mayo de 1980 a marzo de 1981.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA.

En este capítulo se presentan antecedentes relacionados con el estudio, los de mayor importancia son relativos a: mecanización en el maderero, los suelos, efectos sobre el suelo y plantas, y épocas de explotación.

2.1. Los suelos.

Los suelos del predio "Los Pinos" y "Los Ulmos" se encuentran clasificados dentro de la serie Correltúe y la serie Los Ulmos IREN-CORFO-UACH (1978), Valenzuela, R. y Salazar, J. (1977)

Características Generales.

Los suelos de la serie Correltúe, se pueden considerar como una transición de trumao a rojo arcilloso IREN - CORFO-UACH (1978), también denominados por Grez, R.* (1981) como trumao pardo rojizo.

Estos suelos son originados a partir de cenizas volcánicas antiguas depositadas sobre superficies rocosas de tipo metamórfico de la cordillera de la costa. Presentan una topografía de cerros con pendientes complejas de 15 a 43%. Son suelos profundos de colores pardo oscuro y pardo muy oscuro en todo el perfil, sin embargo, entre los 40 y 60 cm apa-

* Comunicación personal.

rece un color pardo rojizo oscuro y pardo rojizo; presentan texturas moderadamente finas (franco arcillosa, limosa y franco arcillo arenoso) hasta los 60 cm y finos en profundidad. La porosidad total es alta (69%), siendo la proporción de poros no capilar mayor que la de poros capilares. Esto se traduce en una buena aireación y en una rápida velocidad de infiltración, características propias de los trumao. La menor proporción de poros capilares se traduce en valores medios en las constantes hídricas, lo que determina una capacidad de retención de agua aprovechable intermedia del 15%, que disminuye ligeramente en profundidad, IREN-CORFO-UACH, (1978), Valenzuela et al (1977).

Los suelos de la serie Los Ulmos denominados rojo arcilloso, se encuentran en la Cordillera de la Costa y sector poniente de la depresión intermedia. Derivan de materiales del complejo metamórfico de la costa o de cenizas volcánicas depositadas sobre materiales metamórficos. La topografía es compleja con pendientes dominantes superiores a 15% con sectores fuertemente profundos, presentan colores pardo rojizo oscuro en superficie a pardo oscuro en profundidad. Estos suelos se encuentran asociados a la serie Correltue en los sectores de mayor pendiente IREN-CORFO-UACH (1978), Yañez, M. (1979).

En el Cuadro 1 se presentan algunas propiedades físicas de los suelos trumao y rojo arcilloso determinado por diversos autores.

CUADRO 1.

Algunas propiedades físicas de los suelos trumao y rojo arcilloso. Densidad real (Dr), Densidad aparente (Dap) Porosidad (Pr) Poros de Drenaje rápido (PDR), de Drenaje lento (PDL), de Agua útil (PAU) y de Agua Inútil (PAI).

Propiedad	SUELOS	
	Trumao	R. Arcilloso
Dr (g/cm ³)	1,9 - 2,7 (1,2,3,4)	2,2 - 2,9 (1,4)
Dap (g/cm ³)	0,3 - 0,9 (1,2,3,4)	0,8 - 1,4 (1,4)
Pr (%)	61,2 - 82,0 (1,2,3,4)	40,3 - 59,7 (1,4)
PDR (%) > 50 μ Ø	9,3 - 44,9 (1)	3,2 - 19,4 (1)
PDL (%) 10-50 μ Ø	3,7 - 18,0 (1)	3,0 - 15,0 (1)
PAU (%) 10-0,2 μ Ø	9,1 - 25,8 (1)	8,0 - 14,9 (1)
PAI (%) < 0,2 μ Ø	15,0 - 25,7 (1)	13,7 - 32,8 (1)

- 1 Yañez, M. (1979)
- 2 Valenzuela, R. et al (1977)
- 3 IREN-CORFO-UACH (1978)
- 4 Grez, R. (1977)

2.2. Mecanización en el madereo.

En contraste con la industria donde la materia prima debe ser llevada a las máquinas, en Silvicultura las máquinas tienen que moverse hacia los bosques. La extracción de la madera desde el bosque implica operaciones diferentes y sucesivas tales como; volteo y trozado, arrastre, carga y transporte, Abeels, P. (1974), González, M. (1979).

El transporte primario terrestre considera el traslado de árboles enteros o rollizos desde el lugar de corta a un patio de acumulación intermedia o final, y de acuerdo al equipo utilizado puede clasificarse ,Gonzalez,M. (1979): -

- a) Por tracción animal : caballos, bueyes, etc.(Skidding)
- b) Por tracción mecanizada:
 - b.1. Transporte sobre vehículos (Forwarding)
 - b.2. Arrastre (Skidding)
 - b.3. Sistema de cables (High-lead system,Skyline) .

En Chile tradicionalmente se han utilizado sistemas de madereo no mecanizado, especialmente el uso de bueyes, - complementado con algunas faenas aisladas de madereo mecanizado. El madereo es una de las etapas de la explotación forestal que consiste en la extracción de trozos o árboles enteros desde el lugar de volteo hasta las canchas de almace -

namiento o carguío a orilla de camino. Los principios del -
madereo son básicamente dos:

- Amarrar la carga a una unidad móvil, en cuyo caso se mueven
ambos,
- Amarrar la carga a un cable de una unidad motriz fija que -
lo enrrolla acercando la carga, Inst. Forestal (1972).

"El madereo mecanizado con tractor forestal articu -
lado ha logrado combinar estos dos principios. El huinche. -
del tractor arrastra la carga hasta éste, moviéndose en segui -
da conjuntamente con el desplazamiento del tractor", Insti -
tuto Forestal,(1972).

Un tractor articulado de ruedas es un equipo dise -
ñado especialmente para la faena de extracción forestal. Es -
un equipo mecanizado de características acordes a la naturale -
za de su trabajo, en el que se pueden observar los principa -
les factores que caracterizan su eficiencia, gran movilidad -
en el bosque, capacidad de carga y velocidad, Largo, A. -
(1970).

La incorporación del tractor articulado en las fae -
nas de explotación como en todo proceso de mecanización, que -
pretende reemplazar un sistema tradicional o mejorar otro, -
se hace con fines de lograr una mayor economía en la produc -
ción, Instituto Forestal (1972).

González, M. (1979) analiza algunas variables de mayor significación que inciden en la selección de equipo de madereo, dependiendo de las condiciones y características típicas y económicas del recurso en cuestión.

Suelo.

En la medida que empeoran las condiciones del suelo se dificulta el trabajo de la maquinaria, disminuyendo su productividad. Esto se produce por tres efectos principales que son:

- Resistencia al rodado y adherencia
- Resistencia a la penetración,
- Resistencia al deslizamiento

Topografía.

La pendiente es uno de los elementos que tienen mayor incidencia en la selección y productividad de los equipos. Todo equipo pierde aproximadamente 10 kilos de capacidad de arrastre por tonelada de peso en cada 1 % de pendiente adversa. Con pendiente favorable los equipos están sometidos al mismo efecto, pero positivo,

Distancia de arrastre.

Es una de las variables fundamentales en la plani -

ficación del madereo o extracción, a mayor distancia de arrastre menor productividad.

En el cuadro 2 se presentan las distancias económicas de arrastre para una condición promedio:

CUADRO 2.

Distancia de arrastre por equipo de madereo

Equipo	Distancia (m)
Animales	0 - 50
Tractor oruga convencional	0 - 150
Tractor forestal (Skidding)	0 - 600
F.M.C. (orugas de alta velocidad)	0 - 1.600

González, M. (1979).

Abeels, P. (1974), destaca que aún cuando no existan restricciones en las condiciones de movilidad y tráfico para las máquinas, en el arrastre de árboles enteros, deben ser considerados la capacidad de soporte y estabilidad de los suelos para impedir un exceso de daños a éstos.

Errores en la selección de equipos mecanizados pueden conducir a modificaciones del suelo cuyas repercusiones biológicas pueden ser mucho más severas que sus consecuencias

económicas directas, Abeels, P. (1974).

Los perjuicios que puede ocasionar el empleo de máquinas pesadas, pueden reducirse al mínimo sin desperdiciar la utilidad de las máquinas si se establece un organizado sistema de extracción, que permita conservar dentro de los límites tolerables las pérdidas de suelo y las variaciones que en éste se produzcan, FAO (1953).

2.3. Epocas de extracción.

La introducción de sistemas mecanizados de extracción permite desarrollar durante gran parte del año las faenas forestales.

Aún cuando el daño por madereo se produce también en condiciones secas del suelo, éste es considerablemente mayor cuando se realiza en condiciones de extrema humedad, Hatchell, G. et al (1970).

Moehring, D. y Rawls, J. (1970), realizaron estudios de madereo en condiciones de elevada humedad, en rodales de Pinus taeda de 40 años en Arkansas, e informaron que los arcillosos aluviales fueron compactados y se redujo notablemente el crecimiento en diámetro de los árboles que habían tenido tráfico en sus alrededores.

Foil, R. et al (1970) citan a Pearson, G. y Marsh, R. (1953) quienes encontraron que suelos dañados por pisoteo y madereos en tiempo de lluvia dan como resultado condiciones desfavorables para la regeneración de Pino ponderosa (Pinus ponderosa Laws).

Steinbrenner, E. (1955) mostró que cuatro viajes - con tractor sobre suelos secos reducen a la mitad el volumen de poros y que un viaje cuando la humedad era igual a la capacidad de campo, era equivalente a los cuatro viajes en condiciones secas.

Se debe considerar por muy permeable que sea el suelo, lluvias constantes durante varios días, separadas por intervalos de menos de 24 horas, contribuirán a mantener permanentemente saturados los espacios porosos del suelo posibilitando que el agua escurra por la superficie, produciendo un daño mayor, Peralta, M. (1976).

2.4. Efectos sobre el suelo.

El transporte de trozas puede ocasionar serias modificaciones a la estructura del suelo y posteriormente al establecimiento y crecimiento de las plantas.

Hatchell, G., Ralston, C. y Foil, R. (1970) reali -

zaron estudios de los efectos provocados por el madereo, como compactación, ahuellamiento y cimentación en suelos de diferente textura y humedad, en la llanura costera atlántica de Estados Unidos. En los diferentes suelos modificados se comprobó daño, especialmente serio en suelos húmedos de textura media.

La compactación producida por diversos tratamientos sea a 3,5 ó 10,5 kg/cm² de presión superficial reduce altamente el tamaño y peso de las plantas. Aún para las pequeñas presiones aplicadas se reduce la aireación del suelo y se retarda mecánicamente el crecimiento de raíces a niveles desfavorables, Foil, R. y Ralston, C. (1967).

En el Cuadro 3 se observan los efectos en las propiedades físicas de algunos suelos, causados por compactación y aflojamiento del suelo en ensayos de laboratorio, Foil, R. y Ralston, C. (1967).

Estos ensayos combinados con el establecimiento de plantas mostraron que tanto el crecimiento de las raíces como la altura de las plantas fueron severamente restringidos en suelos compactados con presiones estáticas de 7 kg/cm² o más, originando densidades aparentes de 1,33 g/cm³ o mayores.

Cuadro 3

Variaciones en la densidad aparente (Dap), y Porosidad (Po) provocados por compactación

y aflojamiento de tres suelos de textura fina.-

Tratamientos	Franco arenosa				Franco				Arcilla			
	Dap. g/cm ³	Porosidad (%)			Dap. g/cm ³	Porosidad (%)			Dap. g/cm ³	Porosidad (%)		
		Total	Cap.	No cap.		Total	Cap.	No Cap.		Total	Cap.	No cap.
Aflojamiento	0,955	77,2	32,2	45,0	0,865	61,7	37,7	44,0	0,880	79,5	34,1	45,4
Sin alterar	1,072	57,3	31,7	25,6	1,063	52,9	40,0	12,9	1,306	49,2	41,1	8,1
3,5 kg/cm ²	1,269	47,5	35,9	11,6	1,195	56,1	49,5	6,7	1,427	48,7	45,4	3,3
7,0 kg/cm ²	1,335	47,4	37,9	9,5	1,188	54,6	49,3	5,3	1,483	45,2	42,8	2,4
10,5 kg/cm ²	1,325	48,4	39,2	9,2	1,383	50,5	46,4	4,1	1,488	51,2	48,7	2,5
10,5 kg/cm ² + agua	1,423	49,1	43,7	5,4	1,299	57,7	51,2	6,5	1,210	57,5	54,0	3,5
Promedio	1,230	54,5	36,7	17,7	1,166	58,9	45,7	13,2	1,299	55,2	44,3	10,9

Foil, R. y Ralston, C. (1967).

También pudo notarse que reducidos crecimientos fueron observados a $3,5 \text{ Kg/cm}^2$ de presión estática y densidad de $1,2 \text{ g/cm}^3$ o mayores sobre suelos de textura fina. Sin embargo las densidades de suelo obtenidas por compactación no eran superiores a las citadas como restrictivas a la penetración de raíces, pero, la porosidad no capilar llegaba a niveles bajos generalmente responsables de ser limitantes para abastecer de oxígeno a las raíces. Con toda probabilidad un sólo factor no era enteramente responsable de retardar el crecimiento de las plantas, más bien una interacción de varias condiciones combinadas producen este efecto Foil, R. y Ralston, C. (1967).

Una mala estructura del suelo puede significar efectos dañinos para la planta, por ejemplo: exceso o deficiencia de agua, falta de aire, incidencia de enfermedades, poca actividad microbiana, impedimento al crecimiento de las raíces, cambios químicos perjudiciales etc.. Por el contrario una buena estructura permite que los factores del crecimiento funcionen a su máxima eficiencia y se obtengan mayores rendimientos en las cosechas Russel, E. (1959).

Como buena estructura se entiende una densidad aparente baja a moderada entre $0,6 \text{ g/cm}^3$ a $0,9 \text{ g/cm}^3$ y una porosidad total moderada a alta de 65% a 80% Greenghil, R. (1979)

Junto a los cambios de estructura y propiedades del suelo se encuentran los riesgos de erosión en suelos susceptibles a ésta. La erosión provoca la desaparición de la capa superficial del suelo causando la pérdida de una gran cantidad de materia orgánica, y con esto desaparecen a la vez casi todo el nitrógeno y la mayor parte del fósforo disponible, dejando al descubierto un subsuelo menos fértil, modificando profundamente la constitución del suelo, su vida y capacidad para absorber, retener y proporcionar humedad a las plantas durante su desarrollo Peralta, M. (1976).

Puesto que la restauración de la fertilidad del suelo es un procedimiento más lento que el de su agotamiento tienen que pasar muchos años para que este se realice AYRES, A. (1960), FAO (1967), Peralta, M. (1976).

En resumen, la estructura del suelo tiene influencia prácticamente en la mayoría de los factores del crecimiento de la planta, en consecuencia, ante determinadas modificaciones puede ser el factor limitante de la producción Gavande, S. (1972).

2.5. Efecto sobre las plantas.

Rosemberg, N. (1964) observó que los efectos adversos de suelos compactados sobre el crecimiento de las plan -

tas probablemente fueron causados por la combinación de una pobre aireación del suelo, impedimento mecánico para el crecimiento de raíces, baja relación de humedad y posiblemente condiciones adversas de temperatura del suelo.

Hatchell et al encontraron que el crecimiento apical se retardó, en todos los grados de modificación del suelo durante los dos primeros años. También, encontraron que plantas colectadas de huellas formadas por neumáticos y orugas de tractores fueron mucho más livianas que plantas del medio de huellas originadas por el arrastre de trozas.

En el Cuadro 4 se muestran valores obtenidos en el establecimiento de plantas y como se afectan por el tipo de suelo y tratamientos perturbadores (Foil, R., Ralston, C. - 1967).

En suelos fuertemente compactados muchas semillas germinaron normalmente, pero dejaron de vivir debido a que los pelos radicales emergentes no penetraron el denso suelo. El Cuadro 4 muestra que las plantas sobrevivieron 30 días después que las semillas fueron sembradas, variando de 92% en depósitos aflojados hasta un valor mínimo de un 46% en depósitos que habían sido compactados y mojados. El modelo general de sobrevivencia en suelos individuales era similar, pero los porcentajes fueron significativamente mas bajos en -

las muestras de arcilla que en las de arena gredosa o suelos gredosos. Foil, R. y Ralston, C. (1967).

CUADRO 4.

Efecto en el establecimiento de plantas, en diferentes suelos por tratamientos de compactación y aflojamientos.

	Arena gredosa	Greda	Arcilla	Promedio
Aflojamiento	92	87	91	90
Sin alterar	92	91	68	84
3,5 Kg/cm ²	75	89	67	77
7,0 Kg/cm ²	89	83	35	69
10,5 Kg/cm ²	85	60	63	70
10,5 Kg/cm ² + agua	57	46	54	52
Promedio	82	76	63	74

Hatchell et al (1970) determinaron que las plantas establecidas en vías primarias llegaron a la mitad de la altura que lograron las establecidas en suelos sin modificación.

"Una de las propiedades físicas que tienen más repercusión en el desarrollo radicular es la compactación del

suelo, que está asociada con la densidad aparente (Gavande, 1972).

"Una densidad aparente baja significa generalmente un gran volumen de poros, y valores altos de densidad indican una alta compactación. La densidad aparente de suelos forestales varía desde $0,2 \text{ g/cm}^3$ en capas orgánicas hasta - aproximadamente $1,9 \text{ g/cm}^3$ en suelos de textura: arenosa gruesa. Capas de suelos compactados que exceden de $1,75 \text{ g/cm}^3$ - en el caso de arenas, $1,55 \text{ g/cm}^3$ en arcillas pueden impedir la penetración de las raíces" Valenzuela, R. y Salazar, J. - (1977).

Se estima que la compactación del suelo puede tener efectos adversos en las plantas que crecen en él:

- a) por aumentar el impedimento mecánico al crecimiento de las raíces y,
- b) por alterar la extensión y configuración del espacio poroso.

"Las observaciones de campo han permitido notar que la compactación del suelo restringe el crecimiento de las raíces y por lo tanto el de las plantas" Forsythe, W. (1975).

2.6. Efecto sobre las aguas.

"Siempre que los materiales, producto de la erosión del suelo son arrastrados por las aguas, inician un camino - intermitente con dirección hacia lagos y océanos, depositándose temporalmente en sitios propicios del área de la cuenca o vertiente. El depósito de los sedimentos ocurre cuando la capacidad de transporte de las aguas se reduce hasta el punto de no ser posible el arrastre de las partículas terrazas. Los daños directos de la erosión del suelo no se limitan únicamente a los terrenos donde se han desprendido los materiales, sino que se extiende en aquellas otras zonas donde tiene lugar la deposición. Al acumularse los sedimentos, los embalses se aterran, las aseQUIAS y caudales de riego se obstruyen, el agua para consumo doméstico requiere técnicas adecuadas de depuración, los cursos navegables pierden profundidad y en las tierras situadas en las llanuras y valles disminuye la fertilidad, e incluso se arruinan totalmente. Los depósitos coluviales normalmente se forman en la parte baja de las laderas que han sido explotadas sin control alguno. El origen de estos depósitos es fundamentalmente la erosión hídrica. Son materiales que han sido transportados por las aguas a una distancia relativamente corta y se han depositado cuando, por la disminución de pendientes, la corriente ha perdido capacidad para continuar su arrastre. En

muchas ocasiones aparecen mezcladas con materiales procedentes de movimientos en masa, adoptando la forma de pequeños conos ubicados en el pié de las laderas. Los daños que originan tales depósitos son debidos fundamentalmente al empobrecimiento de la textura del suelo y pérdidas de fertilidad. Una gran porción de los materiales erosionados en el conjunto de una cuenca continúan en ella, sin pasar a los cursos de agua como deposición coluvial", López Cadenas de Llano y Blanco, M. (1988).

Los serios daños causados por escurrimientos de agua son comúnmente el resultado de técnicas inapropiadas usadas en la remoción de los árboles cosechados Klock, C. (1975).

Frederiksen, R. (1970) ha demostrado que los caminos para cosechar en el este de Oregón pueden causar un aumento en la cantidad de sedimento en el primer año de hasta 5 ton/há.

2.7. Condiciones del terreno.

En un área modificada por maderero se pueden distinguir varias situaciones: sectores con y sin pendiente, vías de saca primarias, vías de saca secundarias, canchas de carguío, etc.

Hatchell, G. et al (1970) comprobaron que el daño era mayor en deslizaderos primarios que secundarios. Considerando como deslizaderos primarios los que desembocan en canchas de carguío o zonas adyacentes a caminos permanentes. Las modificaciones eran aún mayor en suelos superficiales de canchas de carguío. La extensión del área modificada por madereollega a 12,4% (3,2 a 22,8) en deslizaderos primarios; deslizaderos secundarios ocuparon el 19,9% - (8,8 a 42,3) y las canchas de trozos 1,5% (0,3 a 4,6) del área total muestreada.

En el Cuadro 5 se observan efectos causados en densidad aparente, infiltración y espacio ocupado por aire en suelo superficial, clasificado por tipo de perturbación. (Hatchell, G. et al 1970).

CUADRO 5.

Efecto en densidad aparente (Dap), infiltración
y espacios con aire en diferentes situaciones
de madereo

Perturbación	Dap. g/cm ³	Infiltración pul/hr.	Espacio con aire % referido al vol.
Sin perturbación	0,75	25,2	38,5
Vía secundaria	0,92	5,5	27,5
Vía primaria	1,08	2,7	23,1
Cancha de trozos	1,14	2,6	26,2

Modificaciones por madereo causan un sustancial incremento en la dureza del suelo y una drástica reducción en la capacidad de infiltración. Si suelos no modificados se usan como estandar, la infiltración media alcanza el 22% en deslizaderos secundarios, 11% en los primarios y 10% en el suelo superficial de canchas de trozos. El volumen de poros en suelos superficiales fue consistentemente más alto en suelos no modificados que en suelos con madereo. Hatchell, G. et al (1970).

En la Figura 1 se observa como aumenta la densi -

dad aparente por efecto del aumento de pasadas del vehículo de madereo. (Hatchell, G. et al (1970)).

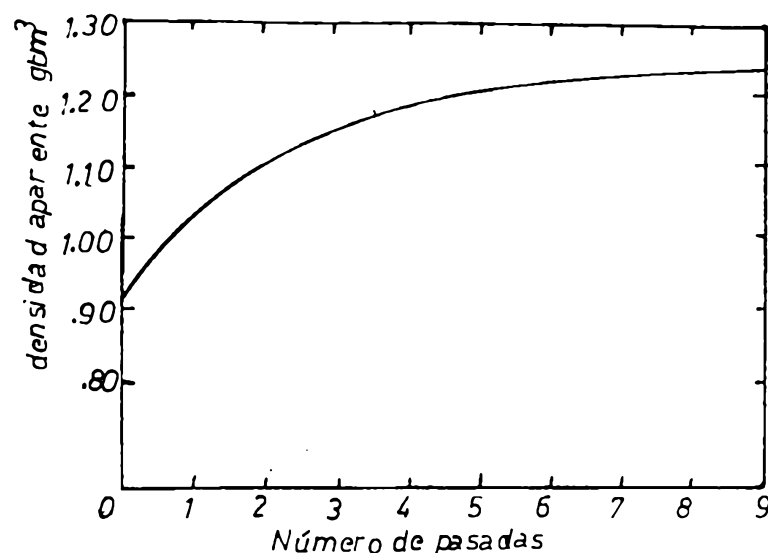


Fig. 1. Relación entre el aumento de densidad aparente con el número de pasadas de vehículo de madereo.

En los sectores con pendientes, que quedan desprovistos de vegetación, existe una mayor susceptibilidad a la erosión ya que se produce escurrimiento superficial del suelo provocado por los diferentes ciclos de expansión y contracción a los que el suelo está sometido FAO (1976) - Taylor, D. (1969).

Por consiguiente todos los suelos de pendiente considerable están sometidos a la erosión por salpicadura con un claro desplazamiento de partículas de suelos en sentido descendente, a la vez que cuanto más fuerte sea la pendiente, menor será el tiempo disponible para la absorción, y más

rápido resbalará la esorrentía FAO (1967), Ayres (1960).

"El uso racional -para el forestal, la correcta - aplicación de los principios de silvicultura- de un terreno en pendiente o de suelo muy susceptible a la erosión no debe ir más allá del punto en que la explotación empieza a ocasionar serios perjuicios" FAO (1953).

3. MATERIAL Y METODO.

3.1. Material.

3.1.1. Ubicación del estudio.

El presente trabajo se desarrolló en los predios forestales "Los Pinos" y "Los Ulmos", pertenecientes a la Universidad Austral de Chile, ubicados en la Provincia de Valdivia, en las coordenadas 39°44' - 73°10' y 40°01' - 73°04' respectivamente.

Los rodales del predio "Los Pinos" considerados en el estudio son los siguientes:

Sectores

- | | | |
|-----|-------------------------|---|
| I | $\frac{30051}{77616,3}$ | Explotado en el invierno de 1976. Superficie de 16,3 há de plantaciones de pino insigne - (Pinus radiata D. Don) de 4 años. |
| II | $\frac{36031}{51a9.0}$ | Superficie de 9 há, explotado en el invierno de 1980. |
| III | $\frac{23021}{78b12.2}$ | Rodal de 12,2 há explotado en la temporada de invierno de 1977. |

En "Los Ulmos" se consideraron dos rodales:

- | | | |
|----|-----------------------|---|
| | $\frac{41071}{55a1}$ | Explotado en el invierno de 1979, con superficie de 1 há. |
| IV | $\frac{41061}{80\ 8}$ | Explotado igual en el invierno de 1979, y - |

una superficie de 8 há.

En el Anexo 1 se adjuntan los planos correspondientes a los rodales del estudio.

3.1.2. Suelos.

El estudio se realizó en el horizonte superficial de dos suelos finos, clasificados como limo arcilloso de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. C.S.).

Para los análisis físico-mecánicos se tomaron muestras alteradas e inalteradas de suelo, a una profundidad de 0 a 20 cm.

3.1.3. Clima.

El régimen pluviométrico se caracteriza por una alta precipitación anual que oscila entre 2.200 y 2.700 mm. El 75% de la precipitación cae entre los meses de Abril a Septiembre. La humedad relativa promedio es alta durante todo el año, con un 78% de promedio diario anual. La temperatura promedio anual es de 12,1°C y el valor medio mensual alcanza a 16,9°C en el mes de Enero y el mínimo a 7,6°C en el mes de Julio Valenzuela et al. (1977).

3.1.4. Situaciones de Muestreo.

Para efectos del estudio se consideraron cuatro situaciones de terreno que permiten cuantificar y comparar la alteración producida en los suelos. Se denominaron como sigue:

Blanco: Situación de terreno con escaso o nulo tráfico.

Se considera como lugar original o inalterado y como patrón de comparación con respecto a las situaciones de suelo modificadas por el madereo.

Vía secundaria: Deslizaderos por donde se arrastran los trozos y que entregan a vías de saca principales .

Vía principal: Son deslizaderos que desembocan en canchas de carguío o zonas adyacentes a caminos permanentes.

Canchas de carguío: Lugar donde se depositan y acumulan los trozos procedentes de la explotación para su posterior carga y traslado en caminos a los centros de elaboración.

3.1.5. Elementos de madereo.

En el presente trabajo se analizan los factores sobre el suelo causados por el madereo con elementos de tracción animal y mecanizada.

En tracción animal el estudio se basa en los efectos causados por bueyes y en tracción mecanizada por Unimog y tractor articulado.

En el Anexo 2 se presentan las especificaciones técnicas de los elementos de madereo.

Conversiones al sistema internacional de medidas.
(Anexo 9).

3.1.6. Obtención de Plantas de Pino Insigne.

Para el diagnóstico de plantas establecidas se analizaron plantas de Pino insignie (Pinus radiata D. Don) de 4 años que se encuentran en el sector III del predio "Los Pinos".

3.2. Método.

Con el objeto de evaluar las modificaciones que se producen en el suelo por efecto del madereo se procedió a extraer muestras de suelo, para cada situación de muestreo descrita anteriormente como: Blanco, Vía Secundaria, Vía principal, cancha de carguío y someterlas a los ensayos físico-mecánicos que se detallan más adelante.

El análisis de los valores obtenidos permite cuantificar el efecto que tiene el tráfico de elementos de madereo sobre algunas propiedades del suelo de importancia para

el establecimiento y posterior crecimiento de las plantas.

La situación denominada como Blanco se considera - como testigo para efectos de comparación con las demás situaciones de madereo.

3.2.1. Determinaciones físico hídricas.

3.2.1.1. Densidad real (Dr.): La Densidad real es la relación entre el peso y volumen de la sustancia sólida. Se determinó por la medida del volumen de agua desplazado por sus partículas sólidas, en matraz de Le Chatelier según norma - ASTM C 115-58, Larson, T. (1966).

3.2.1.2. Densidad aparente (Dap): La densidad aparente se determinó mediante cilindros de 375,34 cm³ de muestras no alteradas. Las muestras se obtuvieron en profundidades de 0 a 12 y 12 a 20 cm, con tres repeticiones.

3.2.1.3. Porosidad: La porosidad es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del suelo. Se obtuvo de la relación entre densidad real y densidad aparente, Yañez, R. (1979).

3.2.1.4. Humedad: La humedad es la razón, expresada como porcentaje, del peso del agua de una masa de suelo dado y el peso de las partículas sólidas. Se determinó según Norma ASTM D 2216-63 T. Gayoso, J. (1972).

3.2.1.5. Granulometría: La granulometría se determinó mediante el análisis mecánico por tamizado y la velocidad de sedimentación de las partículas de acuerdo a la ley de Stokes, Norma ASTM D 422 - 63, Gayoso, J. (1972).

3.2.1.6. Curvas de retención de Humedad. Con el fin de determinar las curvas de retención de agua se tomaron muestras inalteradas de suelos. Estas muestras fueron tomadas con cilindros metálicos, en suelos sueltos y compactados de Los Pinos y Los Ulmos.

La finalidad de este ensayo es determinar la distribución de los diferentes tipos de poros que conforman la estructura del suelo, y los cambios que en ellos se producen por efecto de la compactación.

En el Cuadro 6 se presentan las tensiones elegidas para las curvas de retención de humedad y distribución de los poros del suelo, Yañez, (1979).

CUADRO 6.

Tensiones elegidas para la distribución de los poros del suelo.

Tensión (Kg/cm ²)	Diámetro equivalente	Tipo de poros ($\mu = 1 \times 10^{-3}$ mm)
0,00	> 50 μ	poros drenaje rápido (PDR)
0,06	10 - 50 μ	poros drenaje lento (PDL)
0,33	10 - 0,2 μ	poros retención agua útil (PAU)
15,00	< 0,2 μ	poros agua inútil (PAI)

3.2.1.7. Límites de Atterberg: Los límites líquidos (L.L), límite plástico (L.P.), e índice de plasticidad (I.P.) fueron determinados de acuerdo a la metodología de Atterberg - según Norma ASTM DM 423 - 61 y D 424 - 59, Gayoso, J. (1972).

3.2.2. Propiedades mecánicas.

Al aplicar una presión sobre un estrato de suelo - se produce una disminución de volumen que se denomina compresibilidad. Los diferentes elementos de madereo provocan - una compresibilidad en el suelo en mayor o menor grado de-

acuerdo a los esfuerzos que entrega cada uno. Por efecto de las presiones que recibe el suelo se produce un reacomodo de los granos al vencer la adherencia o atracción entre los puntos de contacto de las partículas. A medida que los esfuerzos son más elevados, estos cambios estructurales o fracturas son parcialmente responsables de que la descompresibilidad sea menor que la compresibilidad.

3.2.2.1. El ensayo Edométrico permite estudiar el comportamiento esfuerzo - deformación del suelo bajo un tipo de carga específica. De acuerdo a la Metodología de Terzaghi el Ensayo Edométrico se realizó colocando una muestra de suelo saturado, confinado en un anillo, cubierta por arriba y por debajo con placas de material poroso que permiten el escape del agua durante la compresión (Fig. 2), y cargándola uniformemente por la interposición de un disco rígido. Se aplicó una presión vertical para comprimir la muestra, esta presión se mantuvo por un lapso de tiempo definido y se aplicó otra carga mayor. Esta operación se repite hasta alcanzar el orden de presión a que el suelo estará sometido bajo las situaciones de madereo. En el Cuadro 7 se presenta la serie de cargas y ciclos de tiempo que estuvieron sometidas las muestras. Se realizaron tres repeticiones para cada muestra inalterada de suelo.

La compresibilidad del suelo se midió utilizando un dial o comparador micrométrico.

Los resultados del ensayo se presentan en un gráfico semilogarítmico, donde en las ordenadas se presenta la relación de vacíos (e) y en las abscisas los logaritmos de los esfuerzos ($\log p$).

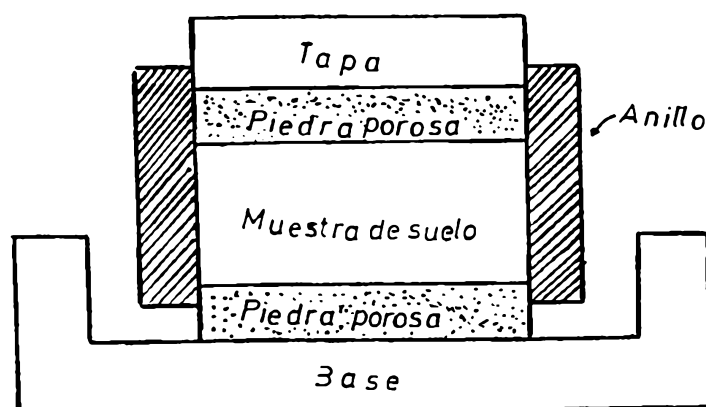


Fig. 2. Edómetro de anillo flotante, utilizado en los ensayos de consolidación.

Mediante este ensayo se determinaron los siguientes parámetros:

Presión de preconsolidación (P_0): Es la máxima presión que ha actuado alguna vez sobre el estrato de suelo en su historia geológica, desde que fue depositada. Se determinó a partir del método que representa la Fig. 3.

Índice de Compresión: (C_c): Coeficiente sin dimensión que es proporcional a la disminución de volumen que se origina al aplicar una carga sobre el suelo. Determinado por la Ec. $e = e_0 - C_c \log_{10} \frac{P_o + dp}{P_o}$ 3.1.-

Índice de Hinchamiento (C_s): Coeficiente sin dimensión proporcional al aumento de volumen que se origina cuando se retira la carga sobre el suelo. Determinado por la Ec. $e = e_1 + C_s \log_{10} \frac{P_o + dp}{P_o}$ 3.2.-

Módulo de Young o Elasticidad (E): Es la relación entre el incremento de esfuerzo y el incremento de deformación que el produce. Se determinó por la Ec. $E = \frac{dp}{de}$ 3.3.- en ensayo de descarga.

Coeficiente de compresibilidad volumétrica (m_v): Corresponde a la compresión del suelo por unidad de espesor original bajo la influencia de un aumento unitario de presión. Determinado por la Ec. $m_v = \frac{C_c}{d_p (1 + e_0)} \log_{10} \frac{P_o + dp}{P_o}$ (cm^2/Kg) 3.4.

También se determinó la reducción en el espesor (S) del estrato para una capa de suelo de 60 cm, de 40 cm y de 20 cm mediante la Ec. 3.5 (Terzaghi et al 1963; Sowers et al 1972; Lambe et al 1972).

$$S = H d_p \cdot m_v \text{ (cm)} \quad (3.5)$$

Donde:

P_o = esfuerzo de carga (Kg/cm^2)

d_p = diferencia de presión (Kg/cm^2)

e = relación de vacíos

S = reducción de espesor del estrato (cm)

H = espesor del estrato (cm)

E = módulo de elasticidad (Kg/cm^2)

Para los dos suelos se realizó un ensayo de - carga y descarga con 6 Kg y 3 1/2 Kg. a intervalos de cinco- minutos para determinar los efectos que produce en el suelo- el sucesivo paso de cargas.

Programa de cargas y tiempo de lectura

Presión Kg/cm^2			Ciclos de tiempo					
Ajte. 1/16			1'					
1/8	15"	30"	1'	2'	5'	15'	30'	
1/4	15"	30"	1'	2'	5'	15'	30'	
1/2	15'	30"	1'	2'	5'	15'	30'	
1	15"	30"	1'	2'	5'	15'	30'	
2	15"	30"	1'	2'	5'	15'	30'	
4	15"	30'	1'	2'	5'	15'	30'	
8	15"	30"	1'	2'	5'	15'	30'	
10	15"	30"	1'	2'	5'	15'	30'	

Las descargas se realizaron cada dos minutos.

3.2.2.2. Módulo de penetración. Con el objeto de medir y comparar el estado de compactación en que se encuentra el suelo en las diferentes situaciones de madereo se introdujo en el estudio el uso de un Penetrómetro TVA (CN-986 SOILTEST) La medida está dada en Kg/cm^2 y representa la resistencia en la punta del penetrómetro que opone el suelo a su introducción (Fig. 4). Este instrumento de empleo rápido y sencillo permite determinar además otros parámetros importantes en la mecánica de suelos.

* Por el punto c, en que la curva tiene el mínimo radio de curvatura, se traza una línea horizontal y una tangente a Ku. - La bisectriz del ángulo (a) que forman estas dos rectas intercepta a la continuación de la parte recta de Ku en el punto (d) cuya abscisa se supone que es igual a p_0 .

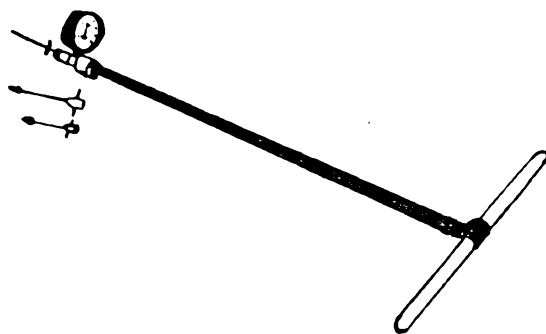


Fig. 4. Penetrómetro TVA. (CN-928 SOILTEST)

Además de la compacidad del suelo en las diferentes situaciones de maderero se determinó la resistencia al corte (R_c) y cohesión (c).

Debido a que estos suelos no son puramente cohesivos y tiene incidencia el ángulo de fricción se utilizó la teoría MOHR y COULOMB para determinar la resistencia al corte Ec.:3f.

$$R_c = c + E_x \operatorname{tg} \gamma \quad (\text{Kg/cm}^2) \quad (3.6)$$

Donde: R_c = resistencia al corte (Kg/cm^2)

c = cohesión (Kg/cm^2)

E_x = esfuerzo normal (Kg/cm^2)

γ = ángulo de fricción (Grados)

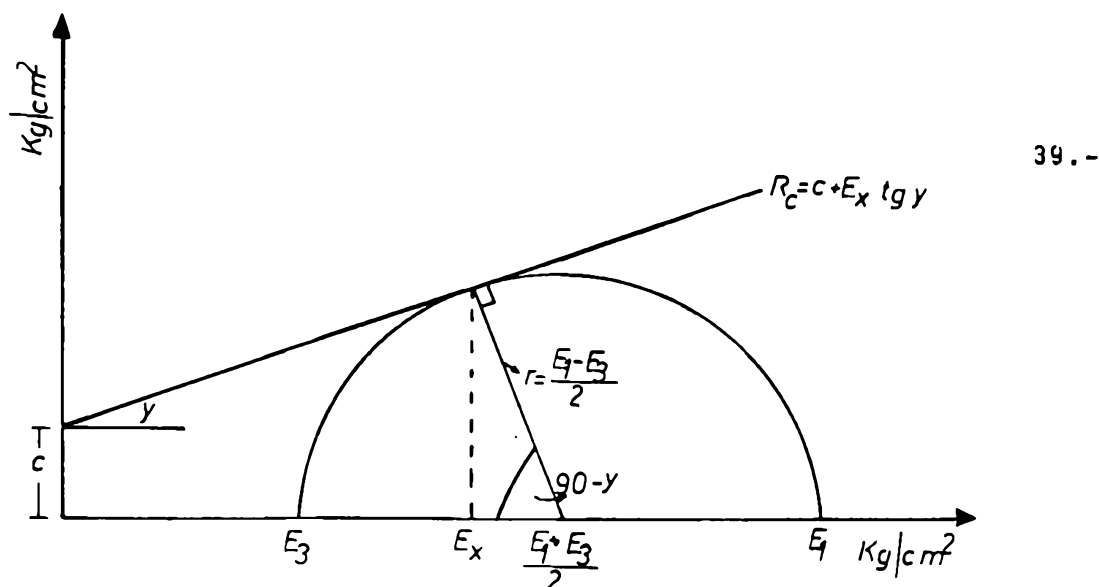


Fig. 5. Representación gráfica de los esfuerzos que producen las deformaciones o fallas, mediante la circunsferencia de Mohr.

La figura 5 representa las condiciones de esfuerzos que producen las deformaciones o fallas definidas por la envolvente de Mohr y que se deduce a continuación:

$$\operatorname{sen} (90-y) = \frac{R_c}{r}$$

Donde:
$$r = \frac{E_1 - E_3}{2}$$

y
$$\operatorname{sen} (90-y) = \cos y$$

Por lo tanto:
$$\cos y = \frac{2 R_c}{E_1 - E_3}$$

o bien
$$R_c = \frac{E_1 - E_3}{2} \cos y *$$

Si E_3 tiende a 0

$$R_c = \frac{E_1}{2} \cos y$$

* Considerando que la carga se distribuye siguiendo la forma de un cono de 90° , para suelos granulares compactados con elevado ángulo de fricción, se tiene que E_3 puede alcanzar como máximo $\frac{E_1}{2}$.

Por lo tanto:

$$R_c = \frac{R_{pm}}{2} \cos \gamma \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Donde:

R_{pm} : resistencia de penetración del área del manto de la aguja del penetrómetro. Donde $R_{pm} = \frac{R_p}{8}$

Esta determinación es válida para un medio poroso homogéneo de textura fina limo-arcillosa, no saturado. En un medio saturado aumenta la resistencia que oponen los poros llenos de agua, pero esto es importante por sobre el 80% de saturación que es difícil de encontrar en el estado natural del suelo.

Los ángulos de fricción considerados para estos suelos fueron de 15° para los estados más sueltos y 20° para los más compactos.

Las agujas utilizadas con el penetrómetro, para las determinaciones del módulo de penetración tienen diferentes dimensiones.

	Agujas	
	² (cm ²)	⁴ (cm ²)
Area sección	1,39	0,30
Area mantos	4,73	2,13

Como la carga se reparte a causa del ángulo de roce se utilizó el área del manto de la aguja. Además la re-

lación entre las áreas de manto de las agujas es de 2,22 y mediante pasos prácticos de penetración con las dos agujas, suelos en estado similar, la relación que se obtuvo fue de 2.4. Por lo tanto se propone utilizar el área del manto para los fines de interpretación de los datos obtenidos con el penetrómetro.

En el Anexo 3 se presenta el número de repeticiones con agujas 2 y 4 y el coeficiente de variación del ensayo de penetración.

A partir de los datos del penetrómetro y el coeficiente de compresibilidad volumétrica (m_v) determinado por el ensayo edométrico, fue posible determinar para estos dos tipos de suelos, de textura fina limoarcillosa, el coeficiente "a" que permite determinar el m_v mediante la fórmula descrita por Sanglerat, 1965. Ec.:3.7

$$a = \frac{1}{m_v R_{pm}} (cm^2/Kg) \quad (3.7)$$

Donde a = coeficiente que varía con la naturaleza del terreno.

3.2.3. Parámetro de Estabilidad.

Se realizaron ensayos que permiten, obtener algunos antecedentes sobre la estabilidad estructural de los suelos que comprende el estudio. Para esto se determinó el coe-

ficiente de Desuniformidad (CU) y la Variación del Diámetro Medio Textural (V.D.M.T.).

3.2.3.1. Variación del Diámetro Medio Textural (V.D.M.T.):

La variación del Diámetro Medio Textural puede considerarse como una medida de la resistencia del suelo a la dispersión en agua. Se determinó a través de la variación que se produce en el contenido de las fracciones finas, al tratar el suelo con y sin dispersante. El valor obtenido es igual a la razón entre el diámetro medio, correspondiente al 50% del tamaño en peso, de las curvas de acumulación textural. Yañez, R. (1979); Ellies, A. y Gayoso, J. (1979).

3.2.3.2. Coeficiente de Desuniformidad (CU): El Coeficiente de Desuniformidad muestra la variedad de tamaños que poseen las partículas que forman la curva granulométrica del suelo. La Desuniformidad de un suelo permite predecir el comportamiento parcial del suelo frente a fenómenos de compactación, penetración y modificaciones causadas por el agua.

Se determinó en base al método de Allen Mozen con modificaciones en la relación de diámetros, considerando siempre el 50% del suelo. La modificación se debió a que el porcentaje de suelo fino siempre fue mayor al 15%. Por lo tanto

el Coeficiente de Desuniformidad se determinó para la relación entre D_{75} y D_{25} , siendo D_{75} el diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 75% del suelo en peso y D_{25} el valor correspondiente para el 25%. Para la clasificación de Uniformidad se utilizó la Parábola de Fuller que representa a una curva - granulométrica pobre en espacio poroso, por lo tanto de buena graduación. La curva se determinó de acuerdo a la siguiente función:

$$p = \frac{(d)^q - (d_0)^q}{(D)^q - (d_0)^q} \times 100 \quad (3.8)$$

donde:

p = % que pasa en peso por un tamiz de abertura de (mm)

d_0 = el tamaño menor de partícula en la mezcla (mm)

D = el tamaño mayor de partícula en la mezcla (mm)

q = el exponente de la parábola

El valor del exponente de la parábola varía según la participación de partículas finas en la mezcla, siendo comunes los valores 0,40 y 0,55. Se usó $q=0,40$ por las características de las partículas del suelo del estudio, Gayoso, et al (1980); Terzaghi, K. (1967) y Lambe, W., et al (1972).

3.2.4. Determinación de las modificaciones en el crecimiento de plantas establecidas y superficie transitada.

Mediante variables como altura y diámetro se analizaron las diferencias de crecimiento existentes en plantas establecidas en suelos similares pero con diferente grado de perturbación. Además, mediante un muestreo al azar, se determinó el tipo y magnitud de la superficie modificada por los diferentes sistemas de madereo.

Estos parámetros permitieron cuantificar el efecto que provoca el madereo en el establecimiento y posterior crecimiento de las plantas y al mismo tiempo ponderar las diferentes situaciones de madereo de acuerdo a su incidencia en el daño al suelo.

La planificación de una red de accesibilidad fina, permite estimar la superficie modificada por el madereo. Estas modificaciones de superficie son más o menos significativas de acuerdo a factores relativos a: distribución de vías de saca, topografía pendiente y densidad de caminos de transporte principalmente.

Con el fin de recomendar alguna alternativa ..

que permita reducir la superficie alterada, se desarrolló un modelo teórico de madereo. Los coeficientes de corrección al modelo teórico de madereo o modelo Base se obtuvieron de Segebaden, G. (1964).

3.2.4.1. Diagnóstico de plantas establecidas:

Las mediciones de las plantas establecidas se realizaron en el predio "Los Pinos", Sector III.

Para efectos de comparación entre las plantas y estado del suelo se eligieron dos situaciones con diferente grado de alteración en suelos similares.

El sector de vía de saca principal que se encuentra altamente compactado y con escasa o nula vegetación se designó con alto grado de alteración (Alterado en adelante) y donde no existían vías de madereo ni tránsito de elementos de madereo se clasificó como situación Blanco.

En estos sectores se procedió a medir altura (h) y diámetro (d) a 29 plantas escogidas al azar, junto a esto se determinó el módulo de penetración del suelo en el lugar donde éstas se encuentran.

El objetivo de realizar estas mediciones es -
comparar el crecimiento de las plantas, en base a diámetro
y altura y el estado de compactación del suelo, mediante -
la densidad aparente y el módulo de penetración, en suelos
de origen similar con diferente intensidad de uso.

3.2.4.2. Cuantificación del área alterada por madereo.

Los sectores y sistemas de madereo que este comprende son los siguientes:

CUADRO 7

Sectores y sistemas de madereo

Lugar	Sección o rodal	Sector	Sist.de madereo	Pend.
Los Pinos	$\frac{30051}{7716,3}$	I	Bueyes y Unimog	10%
Los Pinos	$\frac{30031}{51a9,0}$	II	Articulado	10%
Los Pinos	$\frac{23012}{78b12,2}$	III	Unimog	20%
Los Ulmos	$\frac{41071}{55a1}$	IV	Combinado articu lado y bueyes	10%
Los Ulmos	$\frac{41061}{80\ 2}$		Articulado	

El límite entre los sistemas de madereo de -
tracción animal y mecanizado se estableció de acuerdo a la

pendiente, considerando sobre el 20% el sistema mecanizado y bajo el 10% el uso de bueyes.

En el diseño se consideraron 5 parcelas de 25 m², por sistema de extracción, 10 en total por sector.

La elección de las parcelas fue al azar, pero el muestreo de la parcela fue sistemático, mediante una red de puntos, cada un metro lo que originó un total de 36 puntos de muestreo por parcela.

Además de cuantificar el área alterada se analizó el tipo de alteración o daño producido.

Se consideraron 4 tipos de alteración o daño:

- I Vía de saca principal
- II Vía de saca secundaria
- III Cancha de carguío
- IV Bajo troza
- V Por especificar de acuerdo a la situación encontrada en terreno.

El objetivo de este estudio es cuantificar las modificaciones que se producen en el suelo bajo las condiciones más desfavorables de uso, por lo tanto se eligieron co

dales que han sido explotados en temporadas de invierno, - donde los cambios son más notorios, de recuperación más - lenta y más importante de evaluar por el daño que se produce.

3.2.4.3. Diseño de una red de accesibilidad fina.

El modelo de accesibilidad fina fue desarrollado para un bosque de plantación y suelos de textura fina . Aún cuando el bosque nativo también es importante de considerar, este posee algunas características que requieren de un estudio en particular. Esto no implica que el bosque - nativo no pueda sufrir modificaciones por el madereo.

Limitaciones del modelo.

Algunos de los factores que no permiten generalizar el modelo para bosque nativo se deben a que:

- La corta y saca en bosque nativo es normalmente selectiva y no a tala rasa.
- Generalmente los suelos son más profundos y conjuntamente con el factor anterior provocan una menor pérdida de éste.
- La remoción del suelo producto del tractor y la troza favorece algunas veces el cultivo y regeneración natural - de algunas especies nativas, Burschel, P. et al (1976).

Tampoco se consideró suelos arenosos debido a - que la planificación de la accesibilidad fina en este tipo de suelo implica mayormente un problema económico y no una modificación de suelo. Estos suelos arenosos presentan una mayor capacidad de soporte que permiten una mayor intensidad de tráfico.

Características del modelo.

El modelo base se desarrolló para una superficie unitaria plana cuadrada de 1 hectárea con una distribución de vías de saca paralelas y con entrega perpendicular a los caminos. La densidad de caminos de transporte para camiones considerada en el modelo es de 25 m/há con una distancia media de arrastre de 100 m y con una cancha a ambos lados del camino. Para distancias de madereo mayores, disminuye la incidencia porcentual de la superficie alterada por canchas de carguío con respecto a la superficie total.

El espaciamiento entre vías de saca es de 30, 60 y 120 m considerando 30 m de arrastre con huinche 60 m - arrastre tractor, 120 m de sistema combinado bueyes-articulado.

El ancho de las vías de saca es de 2,5 m y la superficie ocupada por cancha de carguío es de 200 m².

Existen diversos factores que intervienen en la planificación de la accesibilidad fina, los ajustes al modelo teórico en situaciones reales se hicieron en base a:

Planificación.

Los coeficientes de corrección por planificación están dados de acuerdo a la distribución o ángulo de entrega de las vías de saca. El modelo base o modelo A, considera una distribución paralela de las vías de saca con entrega perpendicular al camino. El modelo B considera vías de saca que se cortan en sentido perpendicular formando cuadrados, triángulos equiláteros o exágonos regulares. El modelo C considera vías de saca con distribución al azar.

Topografía.

Los coeficientes de corrección por topografía están dados por las condiciones del terreno. Se consideraron condiciones de terreno fácil, media y difícil.

Los coeficientes de corrección al modelo base por planificación y topografía se presentan en el Cuadro 8.

CUADRO 8.

Coeficiente de corrección por planificación y topografía al modelo base de accesibilidad fina.

Planificación	Modelo	Coef.
	B	1.33
	C	2.00
Topografía	Cond.Terreno	Coef.
	Fácil	1.2
	Media	1.4
	Difícil	1.5

Pendiente de la ladera.

La corrección por pendiente (C_p) se hará de acuerdo a la situación que se presente en la práctica, mediante la función (3.9), o la tabla de corrección por pendiente que se presenta en el anexo 4.

$$C_p = \frac{1}{\cos \alpha} \quad 3.9.$$

donde:

C_p = corrección por pendiente

α = $\angle$ de la pendiente en grados

Densidad de caminos de transporte.

El factor de corrección por densidad de caminos corresponde a la siguiente función:

$$dVS = \frac{a}{A} \cdot \frac{dDC}{DC} \quad (3.10)$$

donde:

dVS = Variación en la superficie de la vía
saca

dDC = Variación en la densidad de caminos

DC = Densidad de caminos

a = Ancho de vía de saca

A = ancho de camino de transporte

Esta metodología es el resultado de un estudio original estructurado de acuerdo a consideraciones básicas de accesibilidad fina, que argumenta como elementos, antecedentes entregados por Segebade, G. (1974), Gayoso, J. (1978).

4. PRESENTACION E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

4.1. Propiedades Físico-hídricas.4.1.1. Análisis de las propiedades físicas de los suelos inalterados.

En el Cuadro 9 se presentan los valores medios de las propiedades físicas de los suelos del estudio. Estos valores corresponden a la situación denominada Blanco, la cual comprende los sectores con escasa o nula alteración.

CUADRO 9.

Valores medios de Densidad real(Dr), aparente (Dap), porosidad (Pr) y límites líquido (Ll), plástico (Lp) e índice de Plasticidad (Ip) de los suelos inalterados.

Propiedad	Los Pinos			Los Ulmos	
	Sector	I	II	III	IV
Dr (g/cm ³)		2.50	2.55	2.37	2.44
Dap (g/cm ³)		0.91	0.82	0.76	0.76
Pr (%)		63.60	67.84	67.93	68.85
Ll (%)		61.00	66.80	68.20	65.50
Lp (%)		43.40	49.00	ND	55.00
Ip		17.60	17.80	NP	10.50

ND = No determinado

NP = No plástico

En Los Ulmos se utilizaron muestras de un solo rodal, para los análisis físicos, ya que ambos tienen igual suelo desde el punto de vista ingenieril.

La densidad aparente es baja y el volumen total de poros es alto, en gran parte de los sectores analizados. Solo en un sector de Los Pinos se presenta un valor medio de densidad aparente moderado de $0,91 \text{ g/cm}^3$ y volumen total de poros de 63.60% en la situación Blanco, lo que indica algún efecto de compactación por causa del madereo. Esto se puede comprobar al observar el Cuadro 11 donde los valores medios de densidad aparente para la situación Blanco del sector I disminuyen en la profundidad de 10 a 20 cm, siendo lo normal que aumenten con ésta como se presenta en los demás sectores.

Desde el punto de vista físico, los resultados alcanzados en las propiedades de estos suelos inalterados, no se presentan como restrictivos al establecimiento y desarrollo de las plantas. La densidad aparente y porosidad no tendrían efecto significativo en la aireación y resistencia a la penetración de raíces, factores considerados limitantes en el crecimiento de las plantas.

Los valores que se obtuvieron en estas propieda-

des son similares a los citados por varios autores en el Capítulo 2 (Cuadro 1).

En el Anexo 5 se presentan las curvas granulométricas típicas de los suelos del estudio y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos utilizado para la identificación de éstos.

Para cada suelo de los sectores se determinaron los límites líquidos, plásticos e índice de plasticidad y mediante la carta de plasticidad se estimaron algunas propiedades potenciales de estos suelos.

De acuerdo al sistema de clasificación y a la carta de plasticidad estos suelos corresponden a:

Limos inorgánicos y arcillas, de ligera a mediana plasticidad y de mediana a alta compresibilidad.

En el Anexo 6 se presentan las tablas de compresibilidad y plasticidad utilizadas como patrón de comparación para los límites de Atterberg de los suelos del estudio. Estas tablas fueron obtenidas de Sowers, G. et al (1972).

El límite líquido y plástico depende de la cantidad y tipo de arcilla, la presencia de partículas más gruesas como limo en estos suelos hace disminuir el límite lí -

quido. El límite plástico también disminuye pero no tan rápidamente como el límite líquido, esto provoca la disminución del índice de plasticidad. Otro efecto que incide en la disminución del índice de plasticidad es la presencia de materia orgánica, que eleva el límite plástico sin elevar simultáneamente el límite líquido, Tschebotarioff, G. (1963).

En el sector III no se pudo determinar el límite plástico lo que indica la presencia de limo inorgánico de muy baja plasticidad.

La presencia de alto contenido de limo nos indica un suelo inestable por naturaleza, particularmente cuando aumenta la humedad, relativamente impermeable y fácilmente erosionable.

Estos suelos tienen índice plástico de 10,5% a 17,8% lo que implica una ligera a mediana resistencia en estado seco.

En base a los resultados que se presentan en el Cuadro 9 se observa que estos suelos finos, clasificados como limo arcilloso, tienen condiciones apropiadas desde el punto de vista físico para el establecimiento y desarrollo de las plantas, pero a la vez son muy susceptibles a sufrir alteraciones significativas si no se aplican mé -

todos racionales de madereo, especialmente en condiciones de extrema humedad.

4.1.2. Variación de las propiedades físicas en las diferentes condiciones de madereo.

En el cuadro 10 se presentan los valores medios de las propiedades físicas obtenidos por situación de madereo.

Los cambios más importantes que se observan corresponden a los valores de densidad aparente. Estos valores aumentan notoriamente en vías principales y canchas de carguío, situaciones que presentan una mayor compactación por el efecto de la intensidad de tráfico mecanizado y el arrastre de trozas.

Las densidades aparentes más altas se presentan en los sectores II y IV los cuales han estado sometidos a explotaciones más recientes.

En el sector I el aumento de densidad aparente en vía principal y cancha es de un 10%. Esta menor diferencia se debe a que se compara con la situación Blanco - y ésta presenta una densidad aparente elevada de $0,91 \text{ g/cm}^3$ producto de un mayor tráfico de madereo.

CUADRO 10.

Valores medios de las propiedades físicas obtenidos
por situación de madereo

Sector		Situación	Dr (g/cm ³)	Dap (g/cm ³)	Pr (%)	Ll (%)	Lp (%)	Ip (%)
L O S P I N O S	I	Bco	2.50	0.91	63.60	61	43.4	17.6
		V.S.	2.52	0.87	65.48	62.8	51.3	11.5
		V.P.	2.52	1.01	59.92	57.6	46.6	11.0
		Ccha.	2.55	1.0	60.78	60	42.3	17.7
	II	Bco	2.55	0.82	67.84	66.8	49	17.3
		V.S.	2.58	1.05	59.30	48.6	32.2	16.4
		V.P.	2.58	1.27	50.78	48.6	32.2	16.4
	III	Bco	2.37	0.76	67.93	68.2	ND	NP
Alt		2.51	1.07	57.37	49	39	10	
L O S U L M O S	IV	Bco	2.44	0.76	68.85	65.5	55.0	10.5
		V.S.	2.39	0.84	64.85	65.4	ND	NP
		V.P.	2.54	1.02	59.84	56.7	48.3	8.4
		Ccha.	2.69	1.16	56.88	63.2	47.5	15.2

ND= No determinado

NP= No plástico

En el sector II la densidad aparente aumentó en un 28% en vía secundaria y un 55% en vía principal con respecto a la situación Blanco. Los valores alcanzados corresponden a $1,05 \text{ g/cm}^3$ y $1,27 \text{ g/cm}^3$ respectivamente.

El sector III presenta una elevada diferencia en densidad aparente, de un 41%, entre la situación Blanco y alterado. Este aumento se mantiene pese al tiempo transcurrido y representa un alto grado de compactación que se ve reflejado en la diferencia de crecimiento en plantas establecidas de pino insigne (Pinus radiata D. Don), efecto que será analizado en el capítulo correspondiente a los efectos propios del madereo.

En el sector IV también existe un aumento considerable de densidad aparente en vía principal y cancha, de un 34% y 52% respectivamente.

Como se puede observar en el Cuadro 10 los valores de densidad aparente, en las situaciones de mayor alteración, van desde $1,01 \text{ g/cm}^3$ en los sectores con mayor tiempo desde que fueron explotados a $1,27 \text{ g/cm}^3$ los más recientes.

Como los valores de densidad aparente están relacionados inversamente con el volumen de poros una alta den-

sidad aparente refleja una baja porosidad. Este bajo volumen de poros se presenta en las situaciones de vía principal y cancha de carguío del sector II y IV donde alcanzan 50,78% y 56,80% respectivamente.

Si bien es cierto que no se llegan a valores extremos de densidad como los citados por Valenzuela, R.(1977), en que valores de $1,55 \text{ g/cm}^3$ pueden impedir la penetración de raíces, las densidades y porosidad obtenidas por situación de madereo en el estudio son considerables, desde el punto de vista que en el diagnóstico de plantas establecidas de Pino insignie (Pinus radiata D.Don) se observó una restricción de crecimiento de un 30% aproximadamente, en sectores con elevado grado de alteración (Cuadro 17).

Estas situaciones con alto grado de compactación son importantes además en la cuantificación de la superficie alterada, donde se presenta la evaluación del daño con respecto a la extensión que ocupa.

Los límites de Atterberg son afectados por los mismos factores que se analizaron en el punto anterior. Para las determinaciones de los límites de Atterberg no se estimó la materia orgánica de los suelos, por lo que la variación en los valores de los límites en un mismo sector se puede deber al mayor o menor efecto de ésta en las diferentes situaciones de maderreo.

También se observa que en las situaciones más alteradas la densidad real es mayor, esto se debe a que el suelo de las vías principales y canchas tienen menor cantidad de materia orgánica que suelos de la situación Blanco y ésta provoca una disminución en la densidad real de las sustancias sólidas.

4.1.3. Determinaciones de compactación en las diferentes situaciones de maderreo.

En el Cuadro 11 se observan los valores medios de densidad aparente (D_{ap}), porosidad total (Pr), Módulo de penetración (M_p), Resistencia al corte (R_c) y cohesión (c) obtenidas para las diferentes situaciones de maderreo en profundidad de 0 a 12 y de 12 a 20 cm. Para cada valor de cohesión se presenta el porcentaje aproximado de humedad (u) correspondiente al momento del ensayo.

Efecto de la compactación en propiedades físico-mecánicas por situación de madereo.-

Sector	Situa- ción	Profun- didad	Dap ₂ (g/cm ²)	Pr (%)	MP (kg/cm ²)	Rc (kg/cm ²)	c (kg/cm ²)	u (%)
L O S P I N O S	I	Bco	0 - 12	0.91	63.60			
			12 - 20	0.90	64.00	3.96	1.91	60
		V.S.	0 - 12	0.87	65.48			
			12 - 20	0.95	62.30	8.19	3.85	52
		V.P.	0 - 12	1.01	59.92			
			12 - 20	0.95	62.30	10.31	4.84	42
	II	Ccha	0 - 12	1.0	60.78			
			12 - 20	0.99	61.13	12.03	5.66	35
		Bco	0 - 12	0.82	67.84			
			12 - 20	0.88	65.49	3.37	1.62	50
		V.S.	0 - 12	1.05	59.30			
			12 - 20	0.91	64.73	8.61	4.05	38
L O S U L M O S	III	Bco	0 - 12	1.27	50.78			
			12 - 20	1.17	54.12	16.71	7.86	30
	IV	Bco	0 - 12	0.76	67.93			
			12 - 20	0.84	64.56	3.2	1.55	62
	V	Alt	0 - 12	1.07	57.49			
			12 - 20	1.01	59.64	7.36	3.46	43
	VI	Bco	0 - 12	0.76	68.85			
			12 - 20	0.85	65.16	2.75	1.33	59
		V.S.	0 - 12	0.84	64.85			
			12 - 20	0.85	64.44	4.62	2.17	59
L O S U L M O S	VII	V.P.	0 - 12	1.02	59.84			
			12 - 20	0.94	62.99	6.87	3.22	50
		Ccha	0 - 12	1.16	56.88			
			12 - 20	1.07	60.22	10.52	4.94	44

Sólo en el sector I la densidad aparente fue mayor en la superficie que en la profundidad de 12 a 20 cm de la situación Blanco. En los demás sectores como es lo normal, la densidad aparente aumentó con la profundidad. Esto indica, como se dijo anteriormente, que el sector se encontraba más compactado que los demás y esto se ratifica al observar que el valor del módulo de penetración es el más alto, 3.96 kg/cm^2 , de las situaciones Blanco de todos los sectores.

En las demás situaciones de maderco como vía secundaria, vía principal y cancha los valores de densidad aparente son mayores en la superficie y disminuyen en profundidad. Estos valores mayores de densidad se deben a que los esfuerzos que transmiten al suelo los elementos de maderco, actúan con mayor severidad en la superficie de éste, disminuyendo en profundidad.

Otro parámetro utilizado para observar la compactación fue el módulo de penetración determinado con el penetrómetro.

En los valores del módulo de penetración con los de densidad aparente, se presenta una correlación positiva de 0.87 reflejando el aumento de densidad aparente por situación con un aumento del módulo de penetración. Los valores más altos del módulo de penetración se presentan en el sector II -

al igual que la densidad aparente llegando a $16,71 \text{ Kg/cm}^2$ y $1,27 \text{ g/cm}^3$ respectivamente, que corresponde a vía principal -

El sector I presenta, en las situaciones de vía principal y cancha, valores mayores del módulo de penetración que el sector IV aún cuando sucede lo contrario en densidad aparente. Estos valores más altos en el módulo de penetración representan el alto grado de compactación a que fue sometido y que mantiene pese al tiempo transcurrido.

Los valores de porosidad, inversamente a las de densidad aparente, aumentan en la profundidad de 12 a 20 cm en la situación alterada.

Al igual que en las propiedades físicas, las diferencias en los valores del módulo de penetración fueron significativas entre las situaciones de madereo y no hubieron diferencias significativas entre los sectores del estudio, para un 95% de confianza.

Los resultados coinciden con los obtenidos en estudios realizados por Hatchel, G. et al (1970), donde comprobaron que las modificaciones por madereo causan un sustancial incremento en la dureza del suelo principalmente en vías primarias y mayor aún en canchas de carguío.

Los valores de resistencia al corte y cohesión se -
rán analizados en el punto 4.2.2., correspondiente a pará -
metros mecánicos determinados por el penetrómetro.

4.1.4. Propiedades hídricas de los suelos del estudio.

En el Cuadro 12 se presentan los valores medios-
de la distribución de poros de los suelos inalterados y com -
pactados de Los Pinos y Los Ulmos y en el Anexo 7 las curvas-
típicas de humedad de estos suelos.

Los poros gruesos (P.D.R. y P.D.L.) de los suelos -
inalterados de Los Pinos y Los Ulmos se presentan en un por -
centaje de 34,34% y 23,4% respectivamente. Ambos suelos no -
presentarían problemas de drenaje, pero es posible que un ele -
vado porcentaje de poros gruesos permita también una rápida -
drenabilidad y poco aprovechamiento del agua. Esto podría -
ocurrir en el Sector Los Pinos. Los poros medianos, poros de
agua útil o retención, se presentan en un porcentaje bajo a -
moderado y representan una capacidad de almacenamiento baja a
moderada que no le permite afrontar adecuadamente períodos -
largos de sequía. Estos suelos presentan un elevado porcenta -
je de poros finos o poros de agua inútil que llegan a 30,54% y -
34,82% en Los Pinos y Los Ulmos respectivamente. Estos poros
finos retienen el agua a presiones muy elevadas, 15 atmósfe -
ras, que son imposibles de absorber por la planta.

Cuadro
CUADRO 12

Propiedades hídricas de los suelos inalterados y compactados del estudio

Tipos de poros	S E C T O R			
	LOS PINOS		LOS ULMOS	
	Inalterado %	Compactado %	Inalterado %	Compactado %
P.D.R.	28.28	9.20	17.50	4.80
P.D.L.	6.06	3.89	5.9	2.64
P.A.U.	6.66	7.50	8.47	4.95
P.A.I.	30.54	40.41	34.82	47.60
Porosidad Total	71.54	61.00	66.69	59.99

Al compactarse el suelo se produce una pérdida en la porosidad total de un 14,73% y un 10,05% en Los Pinos y Los Ulmos. La mayor disminución, de un 61,88 y un 66,50%, se produce en poros gruesos quedando de estos un 13,09% en Los Pinos y un 7,54% en Los Ulmos.

Es conveniente resaltar la poca cantidad de P.A.U. - de estos suelos. Hipotéticamente estos suelos hasta 0,8 m de profundidad acumulan sólo 53,28 mm (Los Pinos inalterado). La tasa de evaporación en Enero es aproximadamente 3,5 a 4,4 mm/día, sólo soportaría una sequía de 15,2 a 12,1 días.

Estos suelos compactados con bajo porcentaje de poros gruesos presentan dificultades de desarrollo para la planta, principalmente de aireación en períodos húmedos . cuando el suelo está saturado.

En los porcentajes de poros medios no se produce una gran variación en el sector compactado de Los Pinos pero - en Los Ulmos los niveles son más bajos que en sector inalte - rado.

Los poros finos o poros de agua inútil aumentan en ambos sectores en los suelos compactados llegando a 40,41% y 47,60% en Los Pinos y Los Ulmos. En estos poros de agua inútil, como se dijo anteriormente, no es posible la absorción de agua por la elevada presión con que la retienen. Estos valores concuerdan con los obtenidos por Foil, R. y Ralston, C. (1967), quienes comprobaron que la disminución de porosidad producida por compactación provocó un aumento en los poros capilares y una disminución en los poros gruesos, esto fue especialmente notable en suelos finos arcillosos (Cuadro 3).

Estos suelos desde el punto de vista físico-hídrico no presentan limitaciones de drenaje en su estado inalterado, pero presentan baja cantidad de poros medios lo que implica - restricciones de agua en períodos de sequía.

4.2. Propiedades Mecánicas.

4.2.1. Análisis de parámetros mecánicos obtenidos a partir del ensayo de consolidación.

En el Cuadro 13 se presentan los valores medios de parámetros mecánicos, determinados mediante ensayo de consolidación para los suelos finos inalterados del estudio. Estas determinaciones representan a los sectores II y IV de los Pinos y Los Ulmos respectivamente.

CUADRO 13.

Valores medios de parámetros mecánicos; Carga de preconsolidación (P_0), Índice de compresión (C_c), Índice de hinchamiento (C_s), coeficiente de compresibilidad Volumétrica (m_v) y Módulo de elasticidad (E).

Sector	P_0 Kg/cm ²	C_c	C_s	m_v cm ² /Kg	E Kg/cm ²
Los Pinos	0.76	0.685	0.0579	0.0331	387,46
Los Ulmos	1.25	0.621	0.0659	0.0233	318,61

Las curvas típicas de esfuerzo-deformación de los suelos de textura fina del estudio se presentan en el Anexo 8.

En suelos normalmente consolidados la carga de preconsolidación (P_0), es producto de la presión efectiva a que el suelo se encuentra sometida por efecto de la tapada actual. Esto no siempre ocurre así y existen otros factores que aumentan los valores de preconsolidación a niveles mayores. El aumento de preconsolidación en el suelo se produce por factores como remoción de tierra, erosión, desecación, cambios químicos etc.

La carga de preconsolidación de Los Pinos alcanza a $0,76 \text{ Kg/cm}^2$ y fue mucho menor que la determinada en el suelo de Los Ulmos que llegó a $1,25 \text{ Kg/cm}^2$. Esto se debe probablemente a que el suelo de la situación blanco de Los Pinos donde se tomaron las muestras haya sufrido menos alteraciones - que el de Los Ulmos al estar sometido a alguno de los factores anteriormente señalados.

Los valores de P_0 permiten estimar bajo que límites de carga se empiezan a producir cambios volumétricos significativos en el suelo.

En Los Pinos y Los Ulmos en condición saturada, esfuerzos menores de $0,76 \text{ Kg/cm}^2$ y $1,25 \text{ Kg/cm}^2$ respectivamente no producen cambios volumétricos significativos en el suelo, pero sobre estas sollicitaciones se observan cambios fundamentales en la relación de vacíos que se ven reflejados en una

disminución de la porosidad y aumento en la densidad aparente.

La mayoría de los suelos naturales sufren alguna alteración en el proceso de toma y elaboración de muestras, por lo tanto la curva esfuerzo-deformación obtenida en laboratorio expresa valores levemente menores que los que se presentan in situ, Terzaghi, K (1963).

La compresión del suelo no es un proceso elástico - reversible, el suelo una vez comprimido tiende a permanecer - así, aún cuando los esfuerzos que la produjeron hayan desaparecido.

El Índice de compresión permite comparar la compresibilidad de los suelos, también calcular los cambios en la relación de vacíos para esfuerzos que excedan la carga de pre consolidación. Este índice de compresión expresa la pendiente de la curva esfuerzo-deformación (Anexo 8), cuanto mayor es la pendiente de la curva, mayor es la compresibilidad del suelo.

Al contrario de lo que ocurre con el coeficiente de compresibilidad volumétrica, que representa la compresión del suelo por unidad de espesor original bajo la influencia de un aumento unitario de presión, que disminuye rápidamente al aumentar los valores de la presión P_0 , el índice de compresión -

es una constante que se mantiene dentro de un intervalo grande de presiones.

Los índices de compresión determinados para los dos suelos del estudio reflejan una alta compresibilidad. El suelo de Los Pinos es más compresible que el de Los Ulmos y sus índices de compresión corresponden a 0,685 y 0,621 respectivamente.

Los índices de compresibilidad de estos suelos determinados mediante el ensayo de consolidación confirman lo estimado mediante los límites de Atterberg en el Capítulo 4.1.1. donde se expresan las alteraciones significativas que se producen en las propiedades mecánicas de estos suelos al someterlos a esfuerzo de carga y densidad de tráfico elevado.

A partir del límite líquido se obtuvo un valor aproximado de la compresibilidad mediante la relación establecida por Terzaghi, K. (1963) $C_c = 0.009(L.L - 10)$. Ec. 4.1. Los valores fueron de 0,51 para Los Pinos y 0.50 para Los Ulmos. Estos valores estimados se aproximan a los obtenidos mediante el ensayo de consolidación y reflejan la alta compresibilidad de estos suelos de acuerdo a la tabla de compresión presentada en el Anexo 6.

En el Cuadro 13 también se observan los valores de los índices de hinchamiento que reflejan el aumento de volúmen que se origina cuando se retira la carga que actúa sobre el suelo. Estos valores alcanzan aproximadamente a un 8% y 10% de los índices de compresión de Los Pinos y Los Ulmos respectivamente.

Este hinchamiento es provocado por alguno de los factores siguientes; recuperación elástica de los granos del suelo, atracción del agua por los minerales arcillosos, repulsión eléctrica de las partículas de arcillas y de sus cationes absorbidos y la expansión del aire atrapado en los poros del suelo, Sowers, G. et al (1972).

La ruptura en los puntos de contacto de los sólidos es un fenómeno no reversible y es parcialmente responsable de que la descompresión sea mucho menor que la compresión original.

Cuando los niveles de esfuerzos son bajos la deformación que se produce en el suelo es baja y la recuperación de éste permite alcanzar niveles similares a los existentes antes de efectuarse la carga. En estos niveles bajos de carga se habla de una recuperación elástica. Lo que no se recupera es producto de una reorientación de algunas partículas

y el aplastamiento de algunos puntos de contacto. La energía perdida en aplastamiento y reordenación de las partículas se denomina pérdida por histéresis.

En los suelos sueltos que tienen grandes poros y pocos puntos de contacto entre las partículas, las deformaciones son grandes y la recuperación en la descarga es pequeña. Además cuanto más suelto es el suelo menor es el módulo de elasticidad para un determinado incremento de carga.

Los suelos del estudio presentan un bajo módulo de elasticidad (E) de 387,46 Kg/cm² y 318,61 Kg/cm² para Los Pinos y Los Ulmos respectivamente. Este bajo módulo de elasticidad refleja de alguna manera el bajo índice de hinchamiento que tienen estos suelos.

La mayor compresibilidad y baja elasticidad que presentan los suelos en relación a los materiales sólidos se debe a la discontinuidad de su naturaleza de constitución. Esto es al estar compuesto por las fases sólida, líquida y gaseosa.

Otro parámetro mecánico determinado fue el m_v que representa la compresión del suelo, por un aumento unitario de presión. El coeficiente de compresibilidad volumétrica (m_v) permite además, junto al índice de compresión, determinar en-

un rango aproximado las modificaciones en la profundidad del suelo frente a variaciones de carga.

En el Cuadro 14 se observan las reducciones en el espesor (S) de los suelos del estudio, causadas por los esfuerzos de diferentes alternativas de madereo. Los valores se determinaron para suelos de profundidad de 20,40 y 60 cm.- Las cargas de 0.8, 4.0 y 6.0 Kg/cm² representan a tractores-orugas, bueyes y articulados y camiones respectivamente. También se determinó la relación de vacíos (e) y porosidad (Pr)- para los diferentes esfuerzos de carga.

En el Cuadro 14 se observan que los valores del sector Los Pinos son levemente mayores que los del sector Los Ulmos, esto refleja la mayor compresibilidad del suelo de Los Pinos.

Los valores obtenidos en ambos sectores son similares y se advierte que al aumentar la carga disminuye el espesor de la capa. Esta disminución es proporcional al espesor de la capa del suelo, es decir, a medida que la capa es mayor, mayor es la reducción del espesor de ésta.

Con cargas de 0,8 Kg/cm², que representa el esfuerzo transmitido por tractor oruga, la reducción en el espesor-

es leve llegando a 1,36 cm en el suelo más profundo, esto representa un 2,23% del espesor total. En cambio, cargas de 2,5 Kg/cm² reduce el espesor aproximadamente un 10% en todos los niveles de profundidad.

En los niveles de carga de 4 Kg/cm², que manifiesta el esfuerzo transmitido por bueyes y tractor articulado, el espesor se reduce un 14% aproximadamente en todos los niveles de profundidad. Esto es 2,82 cm 5,63 cm y 8,45 cm para 20-40 y 60 cm de espesor respectivamente.

CUADRO 14.

Reducción en el espesor del suelo a causa de esfuerzos provocados por diferentes alternativas de madereo.

Sector	Carga Kg/cm ²	Espesor de la capa (cm)			e e _i =1,93	Pr% Pr _i =65,87
		20 S	40 S	60 S		
Los	0.8	0.45	0.91	1.36	1.73	63.30
	2.5	1.86	3.72	5.58	1.44	58.97
Pinos	4.0	2.82	5.63	8.45	1.32	56.90
	6.0	3.64	7.28	10.92	1.22	54.85
						e _i =1.91 Pr _i =65.64
Los	0.8	0.41	0.83	1.24	1.74	63.47
	2.5	1.70	3.40	5.10	1.60	61.50
Ulmos	4.0	2.57	5.14	7.71	1.50	60.00
	6.0	3.32	6.64	9.96	1.40	58.33

Con cargas de 6 Kg/cm^2 se llega a un 18% de disminución en el espesor, en suelos delgados, medianamente profundos y profundos.

En el mismo Cuadro 14 se presenta la disminución de porosidad y relación de vacíos que alcanzan los suelos finos del estudio para cada nivel de sollicitación.

Para cargas de 4 Kg/cm^2 la porosidad disminuye en un 13,62% en Los Pinos y 8,59% en Los Ulmos.

Todos los valores que se presentan en el Cuadro 14 reflejan las sollicitaciones a que se somete el suelo por una sola vez. Para determinar el efecto de las repeticiones de carga se realizó un ensayo de carga y descarga cuyos resultados se presentan en el Cuadro 15 y gráficos en Anexo 8.

El porcentaje que disminuye por pasada es acumulativo y no tiene igual punto de referencia con el porcentaje que recupera al disminuir la carga.

En el Cuadro 15 se observa que la relación de vacíos disminuye por cada pasada de carga, esta disminución aumenta con el número de pasadas. Esto sucede para ambos casos, pero en Los Ulmos los aumentos son levemente mayores. Esto es similar a lo que hubiera ocurrido si el ensayo de carga y

descarga se hubiera hecho a niveles inferiores de presión, la relación de vacíos sería mayor, por lo tanto los cambios hubieran sido más notorios. Este ensayo se realizó a partir de los 10 Kg/cm² de presión.

CUADRO 15.

Efecto de las repeticiones de carga en la relación
de vacíos.

Sector	Nº Pasadas	e e _i =1,155	% que disminuye por pasada.	% que recupera al disminuir carga.
Los Pinos	1	1.144	1.00	4.60
	2	1.147	0.76	3.70
	3	1.141	1.24	3.54
	4	1.136	1.70	3.56
	5	1.132	2.02	3.59
	6	1.132	2.24	3.08
e _i =1,255				
Los Ulmos	1	1.248	0.58	5.80
	2	1.240	1.22	5.64
	3	1.233	1.79	5.57
	4	1.228	2.19	5.43
	5	1.224	2.49	5.31
	6	1.221	2.77	5.18
	7	1.218	2.94	5.10
	8	1.216	3.12	4.82

También es importante destacar la relación inversa-existente entre la disminución en la relación de vacíos, y la recuperación que se produce al disminuir la carga. A medida-que aumentan las repeticiones de carga la relación de vacíos-disminuye progresivamente y la recuperación que se produce en el suelo es cada vez menor por efecto de las repeticiones.

Cabe señalar que sólo se realizaron seis y ocho repeticiones por tipo de suelo, las que en la práctica son ampliamente superadas por los elementos de madereo. A este nivel de repeticiones las disminuciones en la relación de vacíos, por efecto de los ciclos de carga y descarga, eran muy-pequeños por lo que no fue necesario continuar con el ensayo.

Los ensayos de carga y descarga se realizaron a intervalos de 5 minutos debido a que la permanencia de los esfuerzos que causan los elementos de madereo, no son estacionarios sino en períodos cortos de tiempo.

Al disminuir toda la carga la relación de vacíos se recupera en un 7,1% y 8,17%, en un lapso de cinco minutos en Los Pinos y Los Ulmos respectivamente.

En el Sector de Los Pinos la relación de vacíos -

disminuye un 37,25% por efecto de la carga máxima. Al retirar la carga, en cinco minutos la disminución de la relación de vacíos inicial alcanza un 32,47%

En Los Ulmos la disminución llegó a un 33,28% con carga máxima y a un 27,23% al retirar la carga.

La relación de vacíos está relacionada con la porosidad mediante la Función descrita por Terzaghi, K. (1963):

$$n = \frac{e}{1 + e} \times 100 \quad (\%) \quad (4.2)$$

n = porosidad

e = relación de vacíos

A partir de esta relación se determinaron las porosidades iniciales y los cambios que en ella se producen por efecto de los esfuerzos a que se somete el suelo.

En Los Pinos la porosidad inicial fue de 64,29% y llegó a un 53% con la carga máxima. Al retirar la carga la porosidad llegó a un 54,87%, esto implica una disminución de un 14,65% con respecto a la porosidad inicial.

En Los Ulmos la porosidad inicial alcanzó a un 64,54% y llegó a un 54,88% con carga de 10 Kg/cm². Al retirar la carga la porosidad llegó a un 56,98% lo que indica una disminu -

ción del 11,72%.

Los valores analizados en estos cuadros complementan las determinaciones de compresibilidad e hinchamiento de los dos suelos finos del estudio, donde el sector de Los Pinos presenta una mayor compresibilidad y menor hinchamiento que el de Los Ulmos.

4.2.2. Determinaciones a partir del penetrómetro.

En el punto 4.1.3. se analizaron los valores del módulo de penetración correspondiente a cada situación de maderreo. En el Cuadro .11 : del mismo punto se observa como aumentan los valores del módulo de penetración al igual que la densidad aparente reflejando una compactación sucesivamente mayor en Blanco, Vía Secundaria, Vía Principal y Cancha de Carguío.

En el mismo Cuadro 11 se observan los valores correspondientes a resistencia al corte y cohesión. Los valores de resistencia al corte aumentan con la compactación producto del mayor confinamiento de las partículas.

Todos los sectores de Los Pinos presentan una mayor resistencia al corte y una mayor cohesión que el de Los Ulmos. Los valores del módulo de penetración son mayores en Los Pinos,

lo que implica un suelo más compactado, esto repercute en los valores de resistencia y cohesión.

También se puede observar que en las situaciones más sueltas como Blanco la cohesión tiene mayor participación en la resistencia al corte alcanzando un 45% aproximadamente, en cambio en las situaciones más compactadas como Vía Secundaria, Vía Principal y Cancha el ángulo de fricción tiene mayor relevancia alcanzando a un 77% aproximadamente de la resistencia al corte. Esto último se debe a que existe una mayor cantidad de puntos de contacto en el suelo compactado, por lo que la cohesión entre las partículas tiene un efecto menor que el ángulo de fricción o rozamiento en la resistencia al corte.

Utilizando la fórmula descrita por Sanglerat, G. (1965) (Ec.3.7), se determinaron los valores del coeficiente α para los suelos finos del estudio.

Para Los Pinos y Los Ulmos el α es de 8,96 y 15,61 respectivamente.

Cabe destacar que estos valores son válidos para suelos similares y con el cálculo de la resistencia en la punta del penetrómetro por el área del manto y no de la sección.

El penetrómetro permite determinar además de la compactación, resistencia al corte y cohesión utilizado en este estudio, otras estimaciones importantes en la mecánica de suelos, algunas de estas relacionadas con:

- Cimentaciones superficiales y profundas, medida de la porosidad "in situ", previsión de los asientos, etc.

El penetrómetro es un instrumento útil que permite recoger rápidamente datos valiosos, pero sus valores son puntuales o aproximados y naturalmente deben ser comprobados o complementados con un ensayo de consolidación.

4.2.3. Parámetros de estabilidad.

4.2.3.1. Variación del diámetro medio textural (VDMT).

En el Cuadro 16 se presentan los valores de la - VDMT de los suelos del estudio.

La diferencia, en la determinación del diámetro medio textural, a partir del ensayo de sedimentación con y sin dispersante fue muy baja para todos los sectores del estudio. Los suelos no presentaron un alto grado de floculación en los ensayos sin dispersante, esta baja floculación indica la presencia de agregados poco estables al agua.

CUADRO 16.

Valores medios de los parámetros de estabilidad. Coeficiente de uniformidad (CU) y variación del diámetro medio textural (VDMT)

Parámetro	S E C T O R			
	I Los Pinos	II	III	IV Los Ulmos
CU $\frac{D_{75}}{D_{25}}$	11.10	6.6	9.13	8.11
VDMT (%)	16.67	ND	15.91	9.47

ND= No determinado.

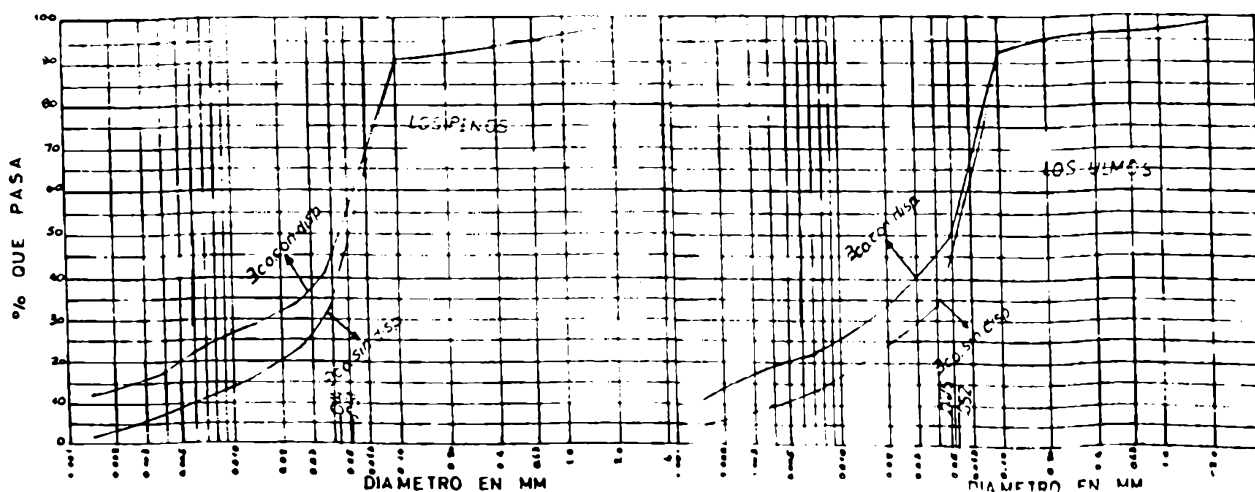


Fig. 6. Variación del diámetro medio textural a partir de las curvas granulométricas con y sin dispersante para Los Pinos y Los Ulmos.

Yañez, M. (1978), determinó para suelos similares, correspondientes a la serie Correltue, valores de VDMT de 72,98% para los ~~trumao~~ 63,37% para los Rojo Arcillosos y afirma que los rojo arcillosos son más erosionables que los ~~trumao~~.

Los valores obtenidos en este estudio son significativamente menores llegando a 16,67% para los ~~trumao~~ pardo rojizo y a 9,47% para los rojo arcilloso de Los Ulmos. Aún así estos valores indican levemente una mayor estabilidad de los denominados ~~trumao~~ pardo rojizo de Los Pinos que los rojo arcilloso de Los Ulmos. Las notables diferencias con los valores obtenidos por Yañez, M. (1978) corresponden al procedimiento utilizado en la determinación de la VDMT, ya que en el presente estudio no se eliminó la materia orgánica del suelo al realizar el ensayo y el tiempo de agitación mecánica en el análisis de sedimentación fue significativamente menor.

4.2.3.2. Coefficiente de uniformidad. (C_u)

El coeficiente de uniformidad es otro parámetro utilizado para obtener algunos antecedentes sobre la estabilidad estructural, de los suelos de textura fina del estudio

En el Cuadro 16 se presentan los valores del-

CU determinado para los suelos del estudio y el valor dado - por la parábola de Fuller utilizado como patrón de clasificación.

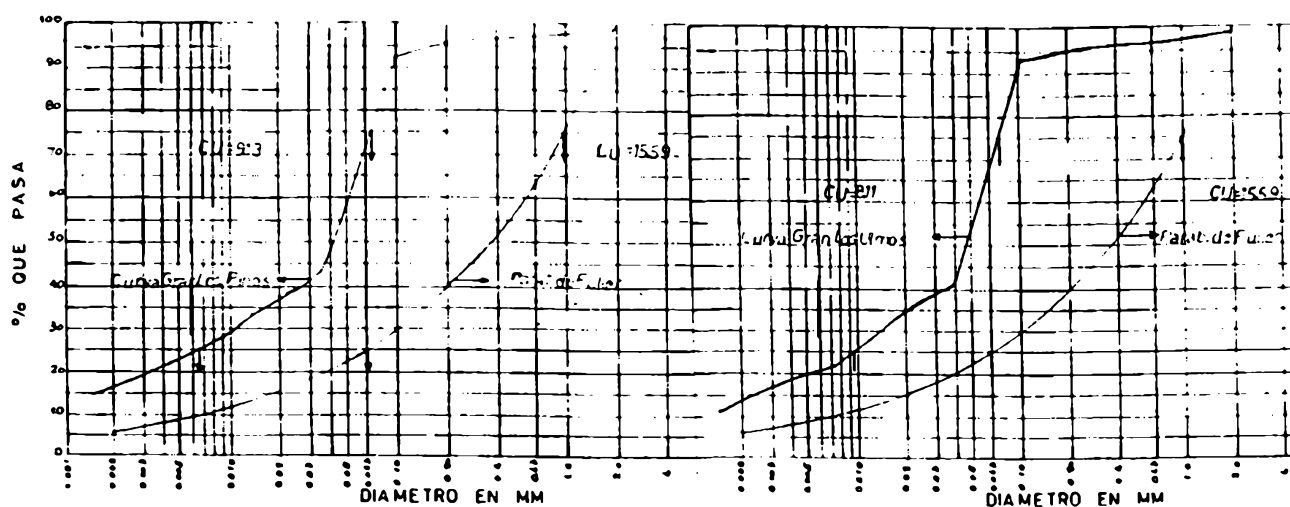


Fig. 7. Coeficiente de uniformidad y parábola de Fuller a partir de las curvas granulométricas de los suelos del estudio.

El valor determinado para la parábola de Fuller es de 15,59 y representa a una curva de buena graduación, es decir que está constituida por partículas de una gran variedad de tamaños.

Los valores alcanzados por los suelos del estudio son menores a los obtenidos por la parábola de Fuller.

Mediante estos valores y las curvas granulométricas se puede concluir que estos suelos tienen una graduación uniforme formada por partículas similares en la mayor parte de su constitución.

Estos suelos de textura limo-arcillosa, de graduación uniforme, presentan desde el punto de vista físico-mecánico una baja estabilidad, un elevado espacio poroso y una baja capacidad de soporte debido a que no existen partículas intermedias que rellenen los espacios dejados por partículas mayores. Estas condiciones que caracterizan a estos suelos uniformes permiten que haya una mayor deformación, una menor resistencia a la compactación y a la penetración.

Los suelos del sector Los Pinos y Los Ulmos presentan una baja estabilidad en condiciones de humedad y a los esfuerzos mecánicos que se vean sometidos.

4.3. Modificaciones causadas por el maderec.

4.3.1. Diagnóstico de plantas establecidas.

En el Cuadro 17 se presentan los valores medios de altura y diámetro, obtenidos de plantas establecidas en suelos similares con diferente intensidad de uso.

CUADRO 17.

Diferencia de crecimiento en plantas de P. insignis (P. radiata D. Don) en suelos con diferente intensidad de uso.

VARIABLES		S I T U A C I O N	
		Blanco	Alterado
dap	P D		
(g/cm ³)	R I 0-12	0.76	1.067
	O D 12-20	0.84	1.013
Pr	F A 0-12	67.93	57.49
(%)	U D 12-20	64.56	59.64
	N		
Altura	$\bar{X}$	286	199
(cm)	S	0.32	0.98
	CV%	16.46	21.19
Diámetro	$\bar{X}$	6.07	4.65
(cm)	S	1.31	0.98
	CV%	21.52	21.19
MP			
(Kg/cm ²)		3.20	7.36

La altura media alcanzada por las plantas establecidas en suelos de la situación Blanco es un 30% mayor que las establecidas en situación alterada. En diámetro la diferencia alcanzó a un 23% favorable a las plantas de la situación inalterada. Estas notables diferencias de 30% y 23% en-

altura y diámetro respectivamente, fueron evaluadas estadísticamente mediante la prueba t y los resultados obtenidos fueron significativos para un 95% de confianza.

En el mismo Cuadro 17 se pueden observar además los valores de densidad aparente, porosidad y módulo de penetración para la situación Blanco y Alterado. En estos parámetros físicos se observa el efecto que produce el elevado tráfico de vehículos pesados sobre el suelo.

Estos efectos tienen posterior incidencia en el desarrollo de las plantas que se establecen en suelos con alto grado de compactación.

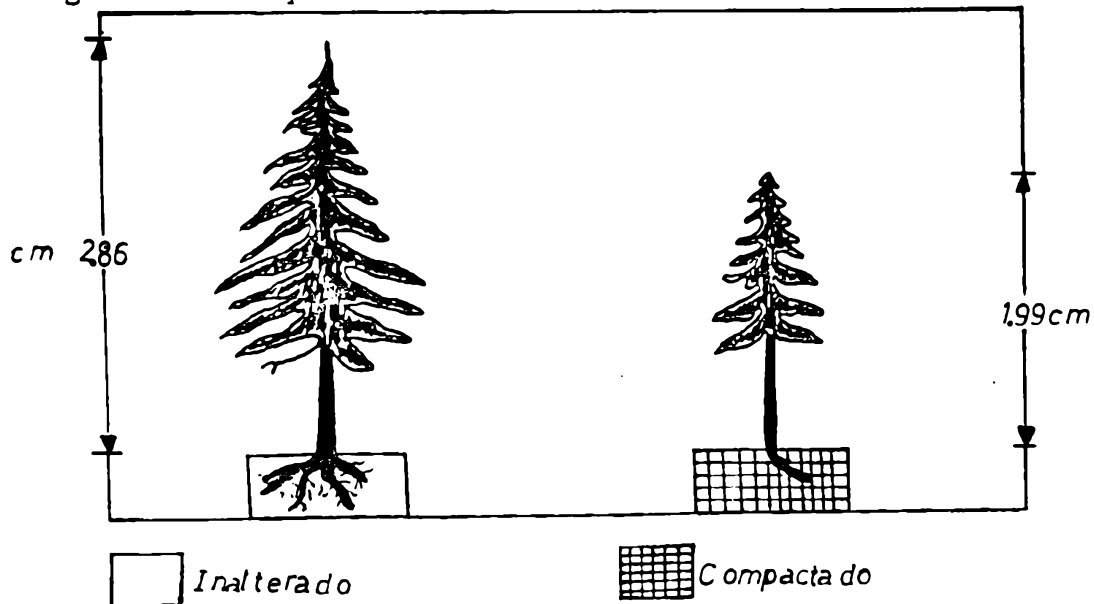


Fig. 8 Comparación de plantas de 4 años en condiciones de suelo inalterado y compactado.

En los sectores inalterados la densidad aparente-aumenta en la profundidad de 12 a 20 cm, al inverso de lo que ocurre en suelos compactados. El caso contrario ocurre con la porosidad, ya que esta es inversamente proporcional a la densidad aparente, por lo tanto se produce una disminución en la porosidad con la profundidad en suelos inalterados.

Estos aumentos de compactación en el suelo, provocados por el madereo, tienen relación con las modificaciones que se producen en el crecimiento de las plantas. Estas modificaciones se pueden observar en las variables de crecimiento anteriormente analizadas como altura y diámetro.

Si bien es cierto que existen otros factores, además de la compactación de los suelos, que tienen influencia en la restricción del crecimiento de las plantas, como la lixiviación de minerales, menor cantidad de materia orgánica y otros efectos químicos que no intervienen en este estudio, la compactación, relacionada directamente con la densidad aparente, tiene efectos sobre una gran cantidad de propiedades físico-hídricas del suelo que impiden un adecuado crecimiento de la planta. Esto concuerda con lo expresado por Foil, R. y Ralston, C. (1967), que la compactación reducía el tamaño y peso de las plantas y aún en pequeñas presiones apli-

cadass se reducía la aireación del suelo y se retardaba mecánicamente el crecimiento de raíces.

Efecto de tratamientos de compactación en diferentes suelos fueron determinados por Foil, R. y Ralston, C. (1967) y comprobaron que la densidad aparente y porosidad era afectada en la mayoría de los tratamientos provocando un aumento en la densidad aparente y una disminución en la porosidad. (Cuadro 3).

También en el Cuadro 11 se observa el aumento del módulo de penetración en la situación alterado, que alcanza a un 56% mayor que la situación blanco esto es 7,26 Kg/cm² y 3,2 Kg/cm² respectivamente. Este valor del módulo de penetración refleja un estado de compactación del suelo alterado que se mantiene, pese al tiempo transcurrido desde que se produjo la explotación.

4.3.2. Cuantificación del área alterada y tipo de daño por situación de madereo.

Desde el Cuadro 18 al 22 se presentan los valores correspondientes a la cuantificación del área alterada y tipo de alteración.

Cada área se analizó en forma individual ya que existen diferencias de sistemas de madereo y año en que estos fueron realizados.

4.3.2.1. Análisis del sector I madereo con tractor
Unimog y madereo con bueyes.

En el Cuadro 18 se observan los valores determinados para tractor Unimog y pendiente 20%.

CUADRO 18.

Superficie alterada en Sector I por madereo con tractor

Unimog

Parc. Nº	Daño		Tipo de Daño				
	Si	No	I	II	III	IV	V
1	22	14				10	12*
2	21	15	13		6	2	
3	19	17		18			1*
4	16	20		6		11	
5	25	11		9		14	2*
Σ	103	77	13	32	6	37	15
X	20,6	15,4					
%	57,22	42,78	7,22	17,80	3,34	20,55	8,33
S			3,36				
CV			16,32%				

* Pisadas de bueyes

El área presenta un 57,22% del terreno alterado con uno de los cinco tipos de daño especificado, como I-II-III-IV-V. en la metodología.

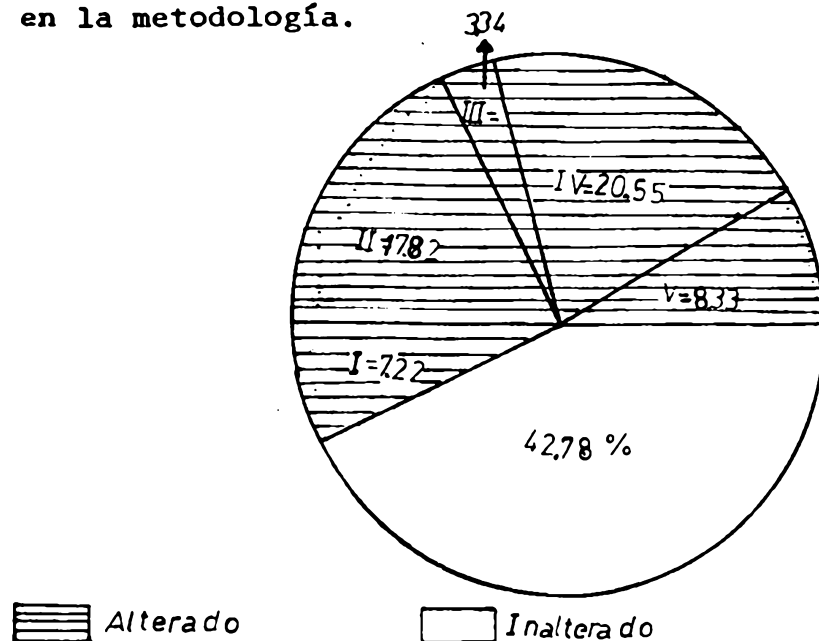


Fig. 9. Presentación gráfica del daño por madereo con Unimog, en el Sector I.

El porcentaje es alto observándose una menor o nula recuperación en situaciones como vías de saca principal y canchas de carguío. Estas dos situaciones de madereo presentan una escasa cubierta vegetal quedando en la mayoría de la superficie el suelo descubierto, expuesto a las situaciones climáticas adversas como lluvia y viento haciéndola más susceptible a la erosión.

El daño más alto en esta situación de madereo - lo ocuparon las vías secundarias y bajo troza con un 17,8% y un 20,55% respectivamente.

El daño producido por vías de saca secundaria - tiene importancia, aún cuando es menor que en vías de saca principal, ya que en estas generalmente aumenta la densidad aparente y se pierde la capa vegetal producto del paso del articulado y la troza. Si bien es cierto el porcentaje de daño bajo troza es levemente mayor, su efecto no es similar al de la vía de saca secundaria por lo que no tiene mayor - importancia. En todo caso en vías de saca secundaria se - puede observar una mayor recuperación que en vías de saca principal, más materia orgánica y una densidad aparente similar al suelo inalterado.

En esta área de estudio las modificaciones que - presentan mayor daño alcanzan a un 10,56% y corresponden a un 7,22% a vías de saca principal y 3,34% a canchas de car- guío. También se determinó un 8,33% de daño producido por pisadas de bueyes debido al madereo combinado en algunos - sectores, pero este daño no es equivalente al producido por las situaciones mecanizadas.

En el Cuadro 19 se presentan los valores ob- tenidos en madereo con bueyes y pendiente 10%.

CUADRO 19.

Superficie alterada en Sector I por madereo con bueyes .

Parc. Nº	Daño		Tipo de Daño				
	Si	No	I	II	III	IV	V
1	15	21	11	2		1	1*
2	14	22		2		7	5*
3	21	15	17			1	3*
4	15	21				8	7*
5	14	22				10	4*
6	15	21		2		5	5*
Σ	94	122					
$\bar{X}$	15.67	20.33					
%	43.52	56.48					
S			2.66				
CV%			17%				
7	28	8	2	21		5	
8	33	3			20	11	2*
Σ to	155	133	30	27	20	51	27
$\bar{X}$	19	17					
%to	53.83	46.7	10.42	9.38	6.94	17.71	9.38
Sto			7.35				
CVto			38%				

* Pisada de bueyes.

Al realizar el análisis de esta área de madereo se obtuvo un elevado coeficiente de variación, por este motivo se procedió a elevar el muestreo a tres parcelas mas. Estas tres parcelas no fueron suficientes para disminuir

esta variación. Dos parcelas del muestreo original provocaron el elevado coeficiente de variación.

Las características de estas dos parcelas se detallan a continuación:

- Parcela 8: El 100% de los puntos muestrales en esta parcela quedaron sobre cancha de carguío. Los tres puntos que no figuran como daño se debió a que quedaron sobre o al lado de tocón.
- Parcela 7: La mayoría de los puntos de esta parcela quedaron en la intersección de vías de saca principal y vías de saca secundaria, lo que también hizo elevar significativamente el daño pero alejándose considerablemente de la media del sector muestreado.

Si se hubiera realizado un muestreo dirigido a obtener que cantidad o porcentaje ocupan las diferentes situaciones de madereo, estas parcelas hubieran tenido mayor relevancia, pero esta cuantificación se realizó por los tipos de daños que dió cada parcela. El área alterada, sin considerar las dos parcelas en cuestión, fue de un 43,52% que es menor al área alterada por sistemas de madereo mecanizado. Considerando estas dos parcelas el daño se eleva a un 53,83% que también es levemente menor que el anterior.

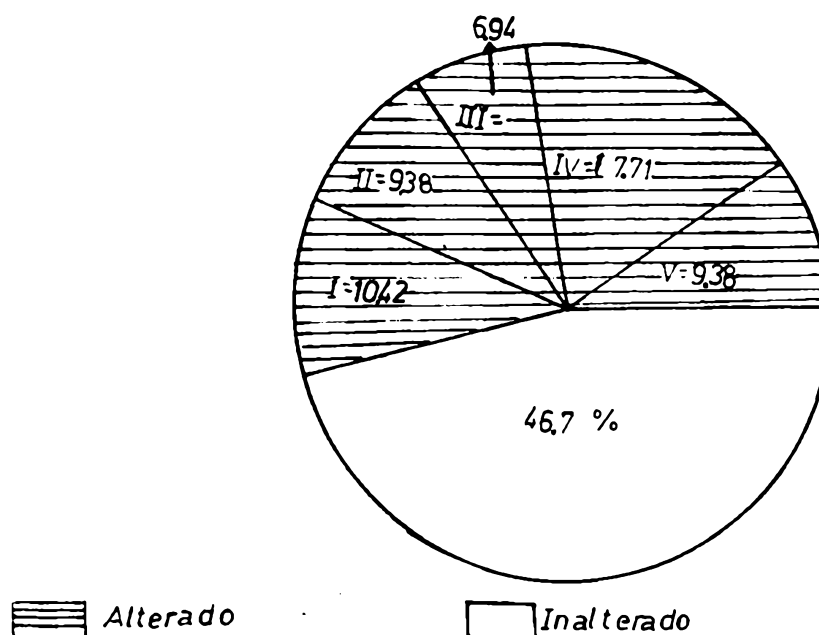


Fig. 10. Diagrama de la superficie alterada por bueyes en Sector I.

En el sector de maderero con bueyes el daño o superficie alterada es alto, ya que están consideradas las vías de saca principal y secundaria que son sectores donde el trozo es tomado y arrastrado por el sistema mecanizado. En la mayoría de las superficies estudiadas el sistema de maderero es combinado por lo tanto no se eliminaron estas situaciones las que hubieran disminuido el área alterada en maderero con bueyes considerablemente encontrándose sólo daño por trozo y pisadas.

En esta área de maderero con bueyes el mayor porcentaje de daño lo ocupa bajo troza con un 17,71%. Las si -

tuaciones con mayor riesgo y daño cuantificable presentan un porcentaje elevado que llega a un 26,74% y corresponde a un 10,42%, 9,38% y 6,94% a vías de saca principal, vías de saca secundaria y cancha de carguío respectivamente,

En esta área analizada existen situaciones que no corresponden al madereo con bueyes propiamente tal, pero como se especificó anteriormente el sistema utilizado es combinado en gran parte del sector y la representatividad de éste está dado por todas las situaciones producidas.

4.3.2.2. Análisis del Sector II correspondiente al madereo con articulado.

En el Cuadro 20 se presentan los valores correspondientes al madereo con tractor articulado.

Este sector fue madereado totalmente con tractor articulado, sólo se utilizó bueyes para carguío y arrumado.

El área de muestreo se dividió en dos sectores. El área más representativa y que corresponde a la faja por donde transitó el articulado arrastrando los trozos, presenta un 91,97% de daños significativo. De este 91,97% el 71,78% corresponde a vías de saca principal.

CUADRO 20.

Superficie alterada en Sector II por maderos con tractor articulado.

-Parc. Nº	Daño		Tipo de Daño				
	Si	No	I	II	III	IV	V
1	36	0	36				
2	36	0	36				
3	36	0	36				
4	31	5		12		8	
5	29	7	18	11			11**
6	30	6	29			1	
Σ	198	16					
$\bar{X}$	33	3					
%	91.7	8.3					
S	3.35						
CV	10.14						
7	24	12		21		3	
8	18	18				2	18*
9	14	22		14			
10	24	12		12		2	10**
Σ to	278	80	155	70		16	21 16
$\bar{X}$ to	28	8					
%	77.22	22.78	43.06	19.44		4.48	5.87 4.48
Sto	7.7						
CVto	27.7%						

* Pisada de bueyes

**Huella articulado

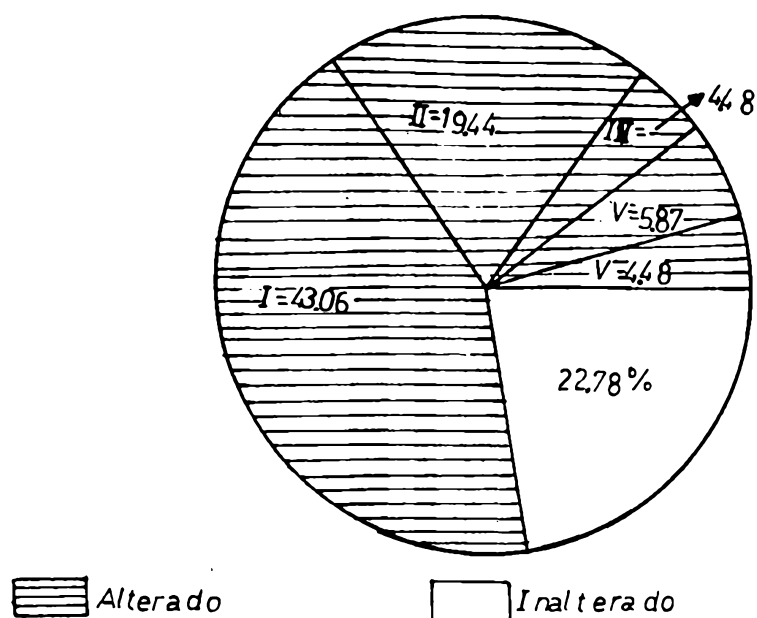


Fig. 11. Gráfico del daño por madereo con tractor articulado - en Sector II.

El otro sector considerado corresponde al extremo de la faja de madereo y comprende mayoritariamente cancha de metros runas. En este sector el porcentaje de superficie alterada alcanza a un 55,56%.

Considerando los dos sectores de muestreo, la superficie alterada alcanza a un 77,22%. El mayor porcentaje - corresponde a vías de saca principal con un 43,06% y a vías de saca secundaria con un 19,44%.

Este sector fue muestreado cuando aún no se terminaba de extraer totalmente los trozos a su lugar de procesamiento. La superficie del rodal es plana, pero comprende una faja muy angosta por donde el articulado realiza los viajes de ida y vuelta, estas características acompañadas de las condiciones climáticas adversas y un suelo muy fino y profundo determinaron el elevado daño producido en el rodal. El sector donde se concentró la mayor cantidad de daños, es prácticamente una vía principal que atraviesa toda la faja que cubre al rodal. El suelo se encuentra muy compactado en huellas profundas y totalmente suelto en sectores adyacentes de las huellas, situaciones de extrema susceptibilidad a la erosión.

4.3.2.3. Análisis del Sector IV con madereo combinado, articulado y bueyes.

En el Cuadro 21 se presentan los valores determinados para el madereo combinado.

Mediante el muestreo inicial de 5 parcelas se obtuvo un coeficiente de variación muy elevado. Se procedió a elevar el número de muestras para comprobar si la variación era producto de una parcela o si por azar habían sido consideradas parcelas no representativas del sector.

CUADRO 21.-

Superficie alterada por articulado y bueyes en
Sector IV.

Parc. Nº	Daño		Tipo de Daño				
	Si	No	I	II	III	IV	V
1	22	14				22	
2	17	19		9		7	1*
3	21	15		7		12	2*
4	20	16	1			14	5*
5	20	16	2	10		8	
6	16	20		11		3	2**
7	18	18	6	10		2	
8	16	20	4	10			2*
9	22	14	11	9		2	
10	17	19	3	6		8	
11	20	16		10		8	2*
Σ	209	187					
$\bar{X}$	19	17					
%	52.78	47.22					
S	2.28						
CV	12.0%						
12	31	5	21			7	3
	240	192	48	82	-	93	15
$\bar{X}$	20	16					2
%	55.56	44.44	11.11	18.98		21.53	3.47
							0.46
S	4.09						
CV	20.45						

* :Pisado de Bueyes
** :Huella articulado

La parcela en cuestión cayó en la intersección de dos vías de saca principal, al considerar esta parcela el porcentaje de superficie alterada llega a un 55,56% con un 20,45% de variación. Sin considerar esta parcela, la superficie alcanza a un 52,78% con un coeficiente de variación de un 12,0%

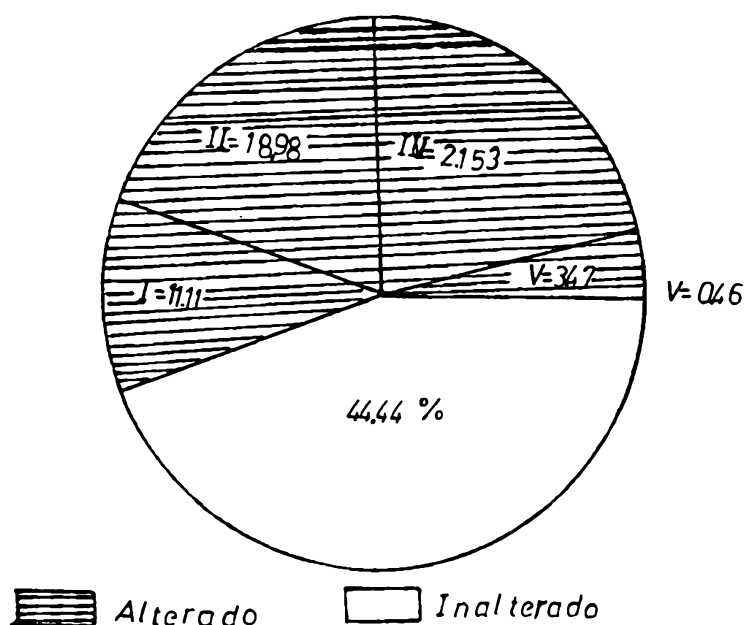


Fig. 12. Representación gráfica de la superficie alterada por madereo con articulado y bueyes Sector IV.

El mayor porcentaje de daño lo ocupa bajo troza - situación que se repite en la mayoría de los sectores pero - que no tiene mayor significación en los efectos al suelo. El porcentaje de superficie alterada en vías de saca principal

correspondió a un 11,11% y a vías de saca secundaria a un 18,98% que en total llega a un 30,09%. El área muestreada es pequeña pero presenta una elevada densidad de vías de saca principal y secundaria.

En el Cuadro 22 se presentan los valores correspondientes a madereo con articulado.

CUADRO 22.

Superficie alterada por articulado en Sector IV.

Parc. Nº	Daño		Tipo de Daño				
	Si	No	I	II	III	IV	V
1	28	8		22		6	
2	20	16		16		4	
3	19	17	4	5		10	
4	22	14		14		8	
5	22	14	3	11		8	
Σ	111	69	7	68		36	
$\bar{X}$	22	14					
%	61.67	38.33	3.89	37.78		20	
S	3.49						
CV	15.73						

En este sector la superficie alterada alcanzó un 61,67% del cual el 37,78% lo ocupó vías de saca secundaria - un 20% bajo troza y vías de saca principal un 3,89%.

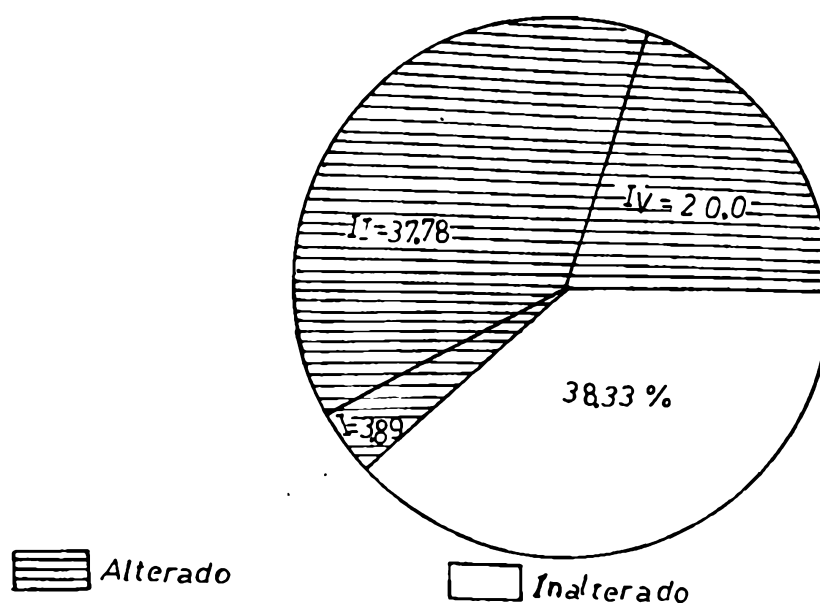


Fig. 13. Gráfico de la superficie alterada por madereo con articulado en el sector IV.

Aún cuando la pendiente no es fuerte en este sector las distancias de madereo son mayores y aumentan la cantidad de vías de saca, esto provoca un aumento de la superficie alterada.

4.3.2.4. Resumen del análisis de la superficie alterada por madereo.

Haciendo una comparación global de todos los sectores muestreados se llega a un 61,66% de superficie alterada,-

esto es considerando los diferentes tipos o sistemas de madereo y años diferentes de extracción por lo cual en algunos sectores existe una mayor recuperación debido al sistema usado y/o al tiempo transcurrido. De este 61,68% de alteración existe un 38,78% de daño significativo, que corresponde a un 17,59% - 19,40% y 1,79% a vías de saca principal-secundaria y cancha de carguío respectivamente.

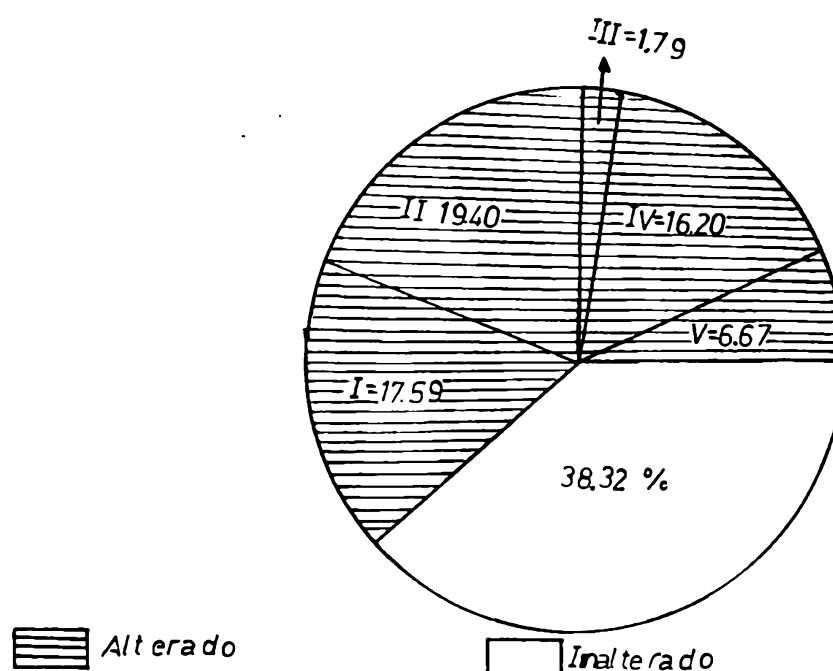


Fig. 14. Gráfico que representa el resumen de la superficie alterada por los diferentes elementos y situaciones de madereo.

Hatchell, G. et al, (1970) determinaron para las mismas situaciones de madereo un 33,88% de superficie altera

da. De este 33,88% el 12,84% correspondió a vías de saca principal, el 19,9% a vías de saca secundaria y 1,5% a cancha de carguío. También comprobaron que el daño era mayor en deslizaderos primarios que secundarios y era aún mayor en suelos superficiales de canchas de carguío. Mediante el análisis de algunas propiedades físicas de estos suelos se comprobó el efecto que produce el madereo en la densidad aparente y porosidad principalmente (Cap.4.1.). También se analizan en este capítulo (4.1.) los efectos de la compactación en las curvas de retención de humedad, principalmente en los poros gruesos que son de utilidad para la planta y que disminuyen drásticamente en suelos compactados.

4.4. Diseño de un modelo teórico de accesibilidad fina

Como resultado de la cuantificación del área alterada por madereo y correspondiendo el mayor daño a las vías de saca principal, secundaria y canchas de carguío se diseñó un modelo de accesibilidad fina .

4.4.1. Presentación del modelo de accesibilidad fina y las variaciones que se presentan en él de acuerdo a las situaciones de terreno.

En el Cuadro 23 se presenta el modelo base de accesibilidad fina de este estudio.

CUADRO 23.

Modelo Base (A) de accesibilidad fina

Espaciamiento entre vías de saca (m)	Densidad de vías de saca (m/há)	Superficie ocupadas por vías (m ² /há)	Superficie ocupadas por canchas (m ² /há)	Total Superficie ocupada %
30	333,33	983,33	200	11,83
60	166,66	416,65	300	7,17
120 *	83,25	208,13	100	3,08

*En el espaciamiento entre vías de 120 m, que considera made-reo combinado de articulado y bueyes, también existe un daño-restrictivo por pisoteo pero no es comparable con el articula-do en cuanto a superficie alterada se refiere.

En el Cuadro 22 se presentan las variaciones - al modelo base.

CUADRO 24.

Variaciones al Modelo Base.

Modelos	T O P O G R A F I A								
	FACIL			MEDIA			ARRUPTA		
	Espaciamiento(m)			Espaciamiento(m)			Espaciamiento(m)		
	30	60	120	30	60	120	30	60	120
Modelo A	13,50	8,00	3,50	15,17	8,83	3,56	16,00	9,25	4,12
Modelo B	16,80	9,65	4,32	19,02	10,76	4,88	20,12	11,31	5,15
Modelo C	23,50	13,00	5,00	26,83	14,67	6,83	28,50	15,50	7,24

Modelo A = Modelo Base. Distribución paralela de las vías de saca.

Modelo B = Distribución geométrica de las vías de saca.

Modelo C = Distribución de vías de saca al azar

El Cuadro 24 no considera correcciones por pendiente de la ladera la cual se hace de acuerdo a la situación que se presenta en la práctica. Esta corrección se hace por la Ec. (3.9) o la tabla de corrección por pendiente que se entrega en el Anexo 4 .

La densidad de caminos del modelo base es de 25 - m/ha, y sólo es comparable con situaciones de igual densidad de caminos. Para efectos de comparación con situaciones de diferente densidad de caminos hay que corregir por el factor que expresa la Ec. (3.10).

4.4.2. Aplicación del modelo.

Ejemplo 1.

Antecedentes:

Sector II "Los Pinos"

Distancia media de saca (S_o) = 300m

* Densidad de caminos 8,33

Pendiente 5°

* La densidad de caminos fue obtenida a partir de la expresión: $S_o = \frac{2500}{DC}$, que está relacionada con la distancia media de saca (S_o).

Topografía fácil

Modelo C = Distribución de vías de saca al azar -
con espaciamiento entre vías de 30 m.

Procedimiento.

El valor, sin corregir pendiente ni densidad de -
caminos, dado por el modelo es de 23,50% de superficie alte -
rada.

Corrección por pendiente.

$$C_p = \frac{1}{\cos \alpha} \quad C_p = \frac{1}{\cos 5^\circ}$$

$$C_p = 1,0038$$

El valor corregido por pendiente es de 23,59% de -
superficie alterada.

Corrección por densidad de camino.

$$d\ S = \frac{a}{A} \times \frac{dDC}{DC} \quad \begin{array}{l} a = 2,5 \\ A = 8 \end{array}$$

$$d\ S = \frac{2,5}{8} \times 0,67\% = 20,94\%$$

La superficie alterada total corregida es de 28,53%.

Ejemplo 2.

Antecedentes:

Estos son iguales al ejemplo 1, excepto el modelo que corresponde a vías de saca con distribución paralela (modelo A).

Procedimiento.

El valor correspondiente al modelo A es de 13,50 sin corregir por pendiente ni densidad de caminos.

El valor corregido por estos dos factores alcanza a 16,39% de superficie alterada.

4.4.3. Discusión del modelo.

En el desarrollo del ejemplo 1 se obtiene un valor de superficie alterada de un 28,53%. Este valor es ampliamente superado en la práctica, donde la superficie alterada alcanzó un 62,5% en el sector de Los Pinos. Aún cuando la máxima superficie alterada por madereo en el Sector II de Los Pinos, debería haber alcanzado valores similares a los obtenidos por el modelo, las propiedades mecánicas de estos suelos impiden que se produzca una restricción de los sectores transitados, obligando a un tráfico elevado por toda la superficie del rodal. Este aumento al doble de la superficie alterada se vió agravado por las condiciones extremas de

humedad en que fue madereado.

Cabe destacar que en el diseño de la red de accesibilidad fina no se hicieron consideraciones de tipo económico. Tanto en espaciamiento mayores de vías de saca, como en sistemas combinados de madereo existe un problema económico y de rendimiento. También el daño y las modificaciones al suelo provocan una pérdida de la productividad de éste y por lo tanto también un problema económico.

También el aumento en la densidad de caminos de transporte, que implica una disminución de la superficie alterada por vía de saca, produce un gasto mayor. Pero el aumento de la densidad de caminos produce una pérdida en la superficie de suelo productivo, en cambio la superficie alterada por accesibilidad fina es más fácil de recuperar por medio de tratamientos culturales como aradura u otros sistemas.

Mediante el diseño del modelo de accesibilidad fina se busca disminuir la superficie alterada por efectos de la planificación y ésta llega en el ejemplo 2, para el mismo sector II de Los Pinos, a una superficie alterada de 16,39%. Se debe hacer incapié que una alteración menor en extensión significa una mayor intensidad del daño, debido a que se sobrecarga cada vía de saca.

Para lograr una optimización y equilibrio en los factores que intervienen en la accesibilidad fina es necesario hacer consideraciones de tipo económicas, que afectan a la producción y rendimientos, y de tipo ecológicas que intervienen en las modificaciones al suelo.

5.- CONCLUSIONES.

Las conclusiones más relevantes del estudio, que se desprenden de la metodología utilizada y resultados alcanzados son las siguientes:

- 1.- Los suelos del estudio, de textura fina limo-arcillosa, presentan en su estado inalterado densidades aparentes bajas a moderadas, 0.7 g/cm^3 a 0.91 g/cm^3 y porosidades moderadas a altas 63,60% a 68.85%.
- 2.- Estos suelos del estudio, presentan también un elevado porcentaje de poros gruesos y finos en su estado inalterado. En Los Pinos los PDR y PDL alcanzan a un 28.28% y 6.06% y en Los Ulmos a 17.50% y 5.9%. Los poros medios o PAU alcanzan a un 6.66% y 8.47% para Los Pinos y Los Ulmos respectivamente.
- 3.- En las situaciones compactadas, por efectos del madereo, las propiedades físico-hídricas cambian drásticamente, especialmente las densidades aparentes y los poros gruesos. La densidad aparente llega a 1.27 g/cm^3 en madereo más reciente y los poros gruesos a 7,84%.
- 4.- Situaciones como vías de saca principal y cancha de carguío presentan una elevada compactación y escasa o nula cobertura vegetal. El módulo de penetración alcanza en los sectores más compactados como vías de saca principal-

a 16.74 Kg/cm^2 y la densidad aparente a 1.27 g/cm^3 . En cancha de carguío el Módulo de penetración llega a $10,52 \text{ Kg/cm}^2$ y la densidad aparente 1.16 g/cm^3 .

5.- Ambos suelos, Los Pinos y Los Ulmos presentan un alto índice de compresión de 0.685 y 0.621, bajo índice de hinchamiento 0.0579 y 0.0659, bajo módulo de elasticidad 387.46 Kg/cm^2 y $311,861 \text{ Kg/cm}^2$ respectivamente.

6.- Estos suelos presentan un aumento en la resistencia al corte en los sectores más compactados que llega a $7,86 \text{ Kg/cm}^2$. En los sectores más sueltos la resistencia al corte es baja y alcanza a $1,33 \text{ Kg/cm}^2$.

La cohesión en los sectores sueltos llega a 0.85 Kg/cm^2 . La cohesión tiene mayor incidencia en los suelos inalterados que en los compactados donde hay mayor confinamiento y el ángulo de fricción alcanza mayor importancia.

7.- Los suelos del estudio son muy inestables al agua y a esfuerzos mecánicos. Presentan estos suelos un CU de 11,1% y VDMT de 16,67% y 9,47% para Los Pinos y Los Ulmos respectivamente. Los suelos de Los Ulmos presentan una menor estabilidad que Los Pinos.

8.- Las plantas de Pino insignie (Pinus radiata D. Don) establecidas en suelos compactados, como vías de saca principal, presentan un crecimiento menor de un 30% en altura y un 23% en diámetro que las establecidas en suelos inalterados.

terados.

- 9.- Existe un elevado porcentaje de superficie alterada por madereo, que alcanza a un 38,78% en vías de saca secundaria principales y canchas de carguío. Este porcentaje es mayor en situaciones de madereo más recientes, donde la superficie alterada llega a un 63,5%.
- 10.- La superficie alterada disminuye mediante una planificación en el madereo. Pero estos suelos son de muy baja resistencia mecánica que impiden una densidad de tráfico elevada, esto es especialmente crítico en condiciones de elevada humedad.
- 11.- Debido a la baja resistencia de estos suelos, de textura fina limo-arcillosa, especialmente el sector de Los Pinos es recomendable; no maderear en condiciones de humedad, analizar otro sistema de extracción por ejemplo cables, no plantar en los sectores más compactados. Si no es posible realizar algún tratamiento cultural en situaciones como vía de saca principal y cancha de carguío es aconsejable dejarlos como medios de accesibilidad al rodal para su posterior manejo.
- 12.- En este estudio se introdujo el uso del Penetrómetro TVA, instrumento que permite estimar en forma rápida y sencilla parámetros mecánicos importantes en la resistencia de los suelos. Pero los resultados a partir de este instru-

mento necesitan ser comprobados o complementados con ensayos de consolidación para una mayor confiabilidad.

6.- RESUMEN.

El estudio tuvo como objetivo aportar antecedentes sobre el comportamiento de dos suelos de textura fina, frente al madereo de árboles en explotaciones de Pino insigne (Pinus radiata D. Don). La toma de datos se realizó en cuatro rodales de los predios Los Pinos y Los Ulmos, pertenecientes a la Universidad Austral de Chile.

La metodología utilizada consistió en la recolección y análisis físico-mecánicos de muestras de suelo con y sin alteración. Las muestras de suelo fueron obtenidas de diferentes situaciones de madereo como, vía secundaria, vía principal y cancha de carguío, y de sectores inalterados denominados Blanco. Junto a esto se realizó, un diagnóstico del crecimiento de plantas establecidas de Pino insigne en suelos inalterados y suelos compactados por el tránsito de elementos de madereo y una cuantificación de la superficie alterada por estos elementos.

De las determinaciones físicas se desprende que los suelos del estudio sufren perjudiciales cambios en densidad aparente y porosidad principalmente, por efectos del madereo. El análisis de las propiedades mecánicas junto a parámetros de estabilidad como Variación del Diámetro Medio Textu -

ral y Coeficiente de Uniformidad, muestran la baja resistencia a esfuerzo de carga y la baja estabilidad que presentan estos suelos, principalmente en condiciones de extrema humedad.

Las plantas de Pino insigne establecidas en suelo compactado tienen un crecimiento significativamente menor, 30% en altura y 23% en diámetro, que las desarrolladas sobre suelo inalterado.

El análisis de la cuantificación del daño por maderero permitió constatar que existe un 38,78% de superficie alterada por vías secundarias, vías principales y canchas de carguío. Como resultado de este análisis se diseñó un modelo teórico de accesibilidad fina (con restricciones) que permite reducir la extensión del daño en forma significativa.

SUMMARY.

This study had as primary purpose to supply information about the behaviour of two soils of fine texture in relation to the logging in Pino insigne (Pinus - radiata D. Don) working. Collection data was done in four stands from "Los Pinos" and "Los Ulmos" farms both belonging to the Universidad Austral de Chile.

Methodology used was based on the collection and physical-mechanical analysis of the soil samples with and without alteration. Soil samples were obtained from different logging situations, such as, secondary road, main road and loading lot, and from inalterated areas named white. Besides, a diagnosis of growth of established plants of Pino insigne in inalterated soils and soils compacted by the action of the traffic of log elements was done, as well as a quantification of the area altered by these elements.

From the physical determinations it is possible to conclude that the studied soils undergo damaging changes, principally in apparent density and porosity due to the logging. The analysis of the mechanical properties together with stability parameters like Mean Textural Diameter Variation and Uniformity Coefficient show the low resistance to loading effort and the low stability shown by these soils

specially in very high humidity conditions.

The plants of *P. insigne* established in compacted soil have a significantly lower growth; 30% in height and 23% in diameter, than those developed in in altered soil.

The analysis of the quantification of the logging damage allowed us to affirm that there is a 38,78% of area altered by secondary roads, main roads and loading lots. As a result of this analysis, a theoretical model of fine access (with restrictions) was designed wich reduces significantly the extension of the damage.

7. PROYECCIONES DEL ESTUDIO.

Con el fin de incrementar los conocimientos sobre los efectos que causa el madereo mecanizado al suelo y posteriormente al establecimiento y desarrollo de las plantas, es de interés del autor recomendar algunos estudios, que escapen a los objetivos planteados en la presente tesis, pero que son interesantes de analizar como complemento a este extenso tema.

Los temas de estudio que se proponen son los siguientes:

- Evaluación económica de la pérdida de suelo y/o productividad de éste.
- Estudio de germinación y prendimiento de plantas en situaciones de madereo como, vía secundaria, vía principal y cancha de carguío.
- Pérdidas de minerales, materia orgánica y elementos químicos en las diferentes situaciones de madereo.
- Medición del ahuellamiento, pérdida de porosidad y aumento de la densidad aparente provocado por el tránsito excesivo de tractor articulado a partir de un suelo inalterado.
- Proposición y evaluación de tratamientos culturales para recuperar rápidamente el suelo a su estado productivo.

8. BIBLIOGRAFIA

- 1.- ABEELS, P. Timber extraction to the roadside on the -
ground. Technology of Forestry. Documentation. 1974.
- 2.- AYRES, A. La erosión del suelo y su control. 1960. -
- 3.- BAVER, E. et al. Física de suelos 1973. -
- 4.- BENNETT, M. Elementos de conservación del suelo. 1965-
- 5.- BUCKMAN, H. y BRADY, N. Naturaleza y propiedades de -
los suelos. 1966. -
- 6.- BURSCHEL, P. et al. Composición y dinámica regenerati -
va de un bosque virgen mixto de raulí y coigue. -
Revista Bosque Vol. 1 N°. 1976. -
- 7.- CABALLERO, M. Estadística para dasónomos. Subsecretaría Forestal de la Fauna, Dirección General del In-
ventario Nacional Forestal. 1973. -
- 8.- CABRERA J. La carga óptima en la saca de Pinus radiata
D. Don con tractor en dependencia de la pendiente -
el volumen medio y la posición de arrastre.
- 9.- CATERPILLAR. Rendimiento de los productos Caterpillar-
1975.
- 10.- E.L.E. Catalogue 6th edition. Materials testing equi-
pament. 1968.
- 11.- ELLIES, A. y GAYOSO, J. Caracterización físico mecáni-
co de dos facies de canchagua de la provincia de -
Valdivia (Chile). 1979.
- 12.- F.A.O. Conservación de suelos. Un estudio internacio -
nal. 1963

- 13.- F.A.O. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. 1967
- 14.- F.A.O. Fortalecimiento del programa Forestal Nacional Chile. Pautas para la ordenación de cuencas, la corrección de torrentes y la lucha contra la erosión. 1974.
- 15.- F.A.O. Technical report of FAO/Austria training course on forest. roads and harvesting in mountainous forests. 1976
- 16.- FOIL, R. y RALSTON, C. The establishment and Growth of Loblolly Pine Seedlings on Compacted Soils. Soil Science. 1967.
- 17.- FORSYTHE, W. Manual de Laboratorio de Física de Suelos Turrialba (Costa Rica) Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. 1975.
- 18.- FREDRIKSEN, R. Erosion and sedimentation following road construction and timber harvest on erodible soils in three small western Oregon watersheds. 1970.
- 19.- GAVANDE, S. Física de Suelos. Principios y Aplicación. 1972.
- 20.- GAYOSO, J. Normas de ensayo, identificación y compactación de suelos. Apunte preliminar. 1972.
- 21.- GAYOSO, J. Apuntes mimeografiados de cátedra. Caminos forestales. 1979.

- 22.- GAYOSO, J. et al. Curso de capacitación sobre construcción de caminos. Forestales. 1980.
- 23.- GONZALEZ, M. Alcances sobre mecanización de faenas de explotación forestal. Conaf. Periódico Chile Forestal N° 50 año 5. Nov. 1979.
- 24.- GREENGHILL, R. Método de diagnóstico de la fertilidad del suelo en un vivero forestal central. Tesis. UACH. 1979.
- 25.- GREZ, R. Nahrelementhaushalt und Genese von Boden aus vulkanischen, Aschen Sud Chile. Diss Doktorgrades. - Universitat Freiburg. 1977.
- 26.- HATCHELL, G. et al. Soil disturbances in logging. Journal Forestry. 1970.
- 27.- HOPKINS, R. and Patrick, W. Combined effect of oxygen content and soil compaction on root penetration. - Soil Science. 1969.
- 28.- INSTITUTO FORESTAL. Madereo mecanizado con tractor forestal articulado. Inf. Tec. N° 40. 1972.
- 29.- IREN/CORFO/UACH. Estudio de suelos de la provincia de Valdivia. 1978.
- 30.- JURGENSEN, M. et al. Forest Soil Biology-Timber harvesting relationships a perspective USDA. Forest Service. 1972.
- 31.- KLOCK, G. Estimating two indirect logging costs caused by accelerated erosion. 1975.

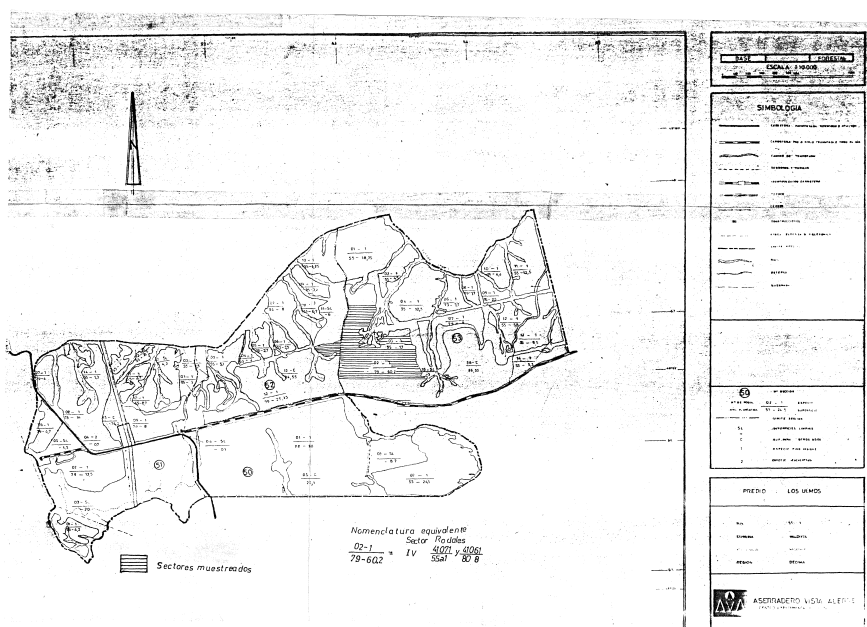
- 32.- LAMBE, T. y WHITMAN, R. Mecánica de suelos. 1972. -
- 33.- LARGO, S. Utilización de un tractor articulado de ruedas en faenas de maderero de P. insigna. 1970. -
- 34.- LARSON, T. Concretos de cemento Portland y asfálticos. 1966.
- 35.- LOPEZ CADENAS DE LLANO, F. y BLANCO, M. Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte de depósito de material. 1968.
- 36.- MOEHRING, D. and RAWLS, J. Detrimental effects of wet-Weader logging. Journal Forestry. 1970.
- 37.- PERALTA, M. Uso, Clasificación y Conservación de Suelos 1976.
- 38.- ROCUANT, L. et al. Efecto de la cubierta vegetal en las propiedades químicas y físicas de los suelos forestales. III. Suelos serie Arenales. Bol.Tec. N° 59. 1976.
- 39.- ROSENBERG, N. Response of plants to the physical effects of soil compaction. Advance Agron. 1964. -
- 40.- RUSSEL, E. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. 1959.
- 41.- RUTLLANT, J. Mecánica de suelos en la ingeniería vial. 1974.
- 42.- SANGLERAT, G. El penetrómetro y el reconocimiento de Suelos. 1967.

- 43.- SEGEBADEN, G. Estudios of cross-Country transport distances and road net extension , 1964.
- 44.- SOILTEST. General Catalog. Vol. 2. 1968.
- 45.- SOWERS, G. et al. Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones. 1972.
- 46.- STALLINGS, J. El suelo, su uso y mejoramiento. 1962.
- 47.- SUAREZ de CASTRO, F. Conservación de suelos. 1956.
- 48.- TAYLOR, D. Fundamentos de la mecánica de suelos. 1969.
- 49.- TAYLOR, H. y GADNER, H. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density moisture content, and strength of soil. Science. 1963.
- 50.- TERZAGHI, K. et al. Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. 1963.
- 51.- VALENZUELA, R. y SALAZAR, J. Elaboración de un mapa de suelos para un predio forestal. 1977.
- 52.- VEIHMEYER, F. y HENDRICKSON, A. A soil density and root penetration Soil Science 1948.
- 53.- YAÑEZ, R. Caracterización física de la estructura de tres grupos de suelos de las provincias de Cautín y 1979.

ANEXO 1.

Planos de los rodales utilizados en el Estudio.

1



ANEXO 2.

Especificaciones técnicas de los elementos de madereo.

- Tractor Unimog Mercedes Benz Modelo 406. Consta de un apoyo trasero y dos huínes gemelos, se transforma en un tractor de saca. Algunas especificaciones técnicas son:

- . Motor Diesel 6 cilindros
- . Potencia máxima 70 H.P.
- . Peso total 4.500 Kgs.
- . Velocidad 2,8 a 78 Km por hora
- . Neumáticos 12,5 x 20
- . 2 Huínes gemelos. Fuerza tracción 6 ton.c/u.
- . Largo total 4.30 m
- . Ancho 2.00 m
- . Altura libre del diferencial al suelo 0.42 m.
- . Radio mínimo de giro 5,00 m (Cabrerá, J. 1971).
- . Esfuerzos al suelo 4 Kg/cm²

- Tractor articulado Caterpillar Modelo 518. De diseño y fabricación CAT especialmente para arrastre pesado.

- . Motor Diesel 4 tiempos Caterpillar
- . R.P.M. 2.200
- . Neumáticos standar 18,4 x 34
- . Peso de operación 8.800 Kg.
- . Longitud total 5.740 m

- . Ancho incluido neumático 2.510 m
- . Altura 2.82 m
- . Entre vía 2.07
- . Espacio sobre el suelo en la articulación 0,61 m
- . Radio de giro 4.9 m
- . Tracción del cable del tractor 14.500 Kg.
- . Esfuerzos al suelo 4-4,5 Kg/cm²

Caterpillar (1975).

- Tracción Animal-Bueyes

- . Esfuerzos al suelo 3,5 - 4 Kg/cm²

Este esfuerzo es causado por un buey de madereo con peso - de 700 a 800 Kg, a partir de tres apoyos donde cada apoyo tiene una superficie de 60 cm², Ellies A. (1981)*

* Comunicación Personal.

ANEXO 3

Ensayo de penetración con agujas 2 y 4 y coeficiente de variación del ensayo.

A G U J A S

Nº 2	Nº4	Nº2	Nº4	Nº2	Nº4
69	33	51	19	73	40
69	33	85	31	62	30
44	15	109	45	74	31
44	15	99	35	61	29
38	14	85	35	50	28
33	15	48	18	81	33
43	17	55	20	78	22
73	23	90	40	65	34
57	22	83	45	82	37

La relación entre aguja Nº 2 y Nº4 es 1:2,40.
El Coeficiente de Variación (CV) del ensayo es de 15%.

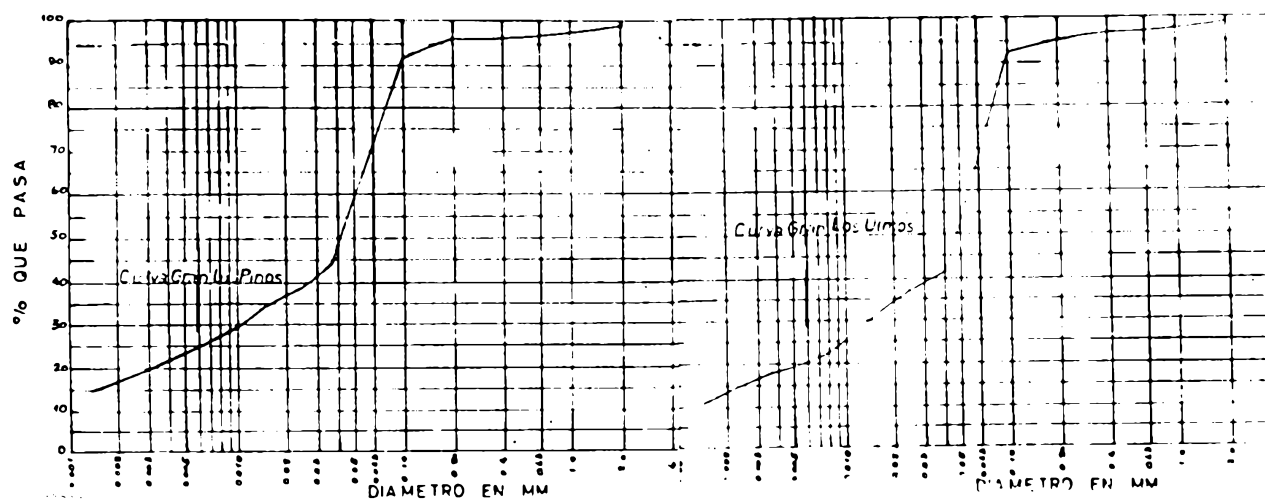
ANEXO 4

Tabla de corrección por pendiente para el modelo de accesibilidad fina. Gayoso, J. (1979).

Pendiente en Grado	Factor de corrección
5°	1.004
10°	1.015
15°	1.035
20°	1.064
25°	1.103
30°	1.154
35°	1.221
40°	1.305
45°	1.414
50°	1.556

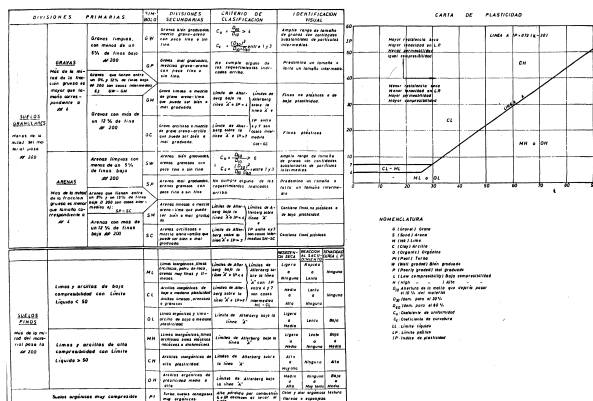
ANEXO 5.

Curvas granulométricas típicas de los suelos del estudio y
sistema de clasificación de suelo



BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

Rutllant, J. (1974).



ANEXO 6.

Tabla de Compresibilidad

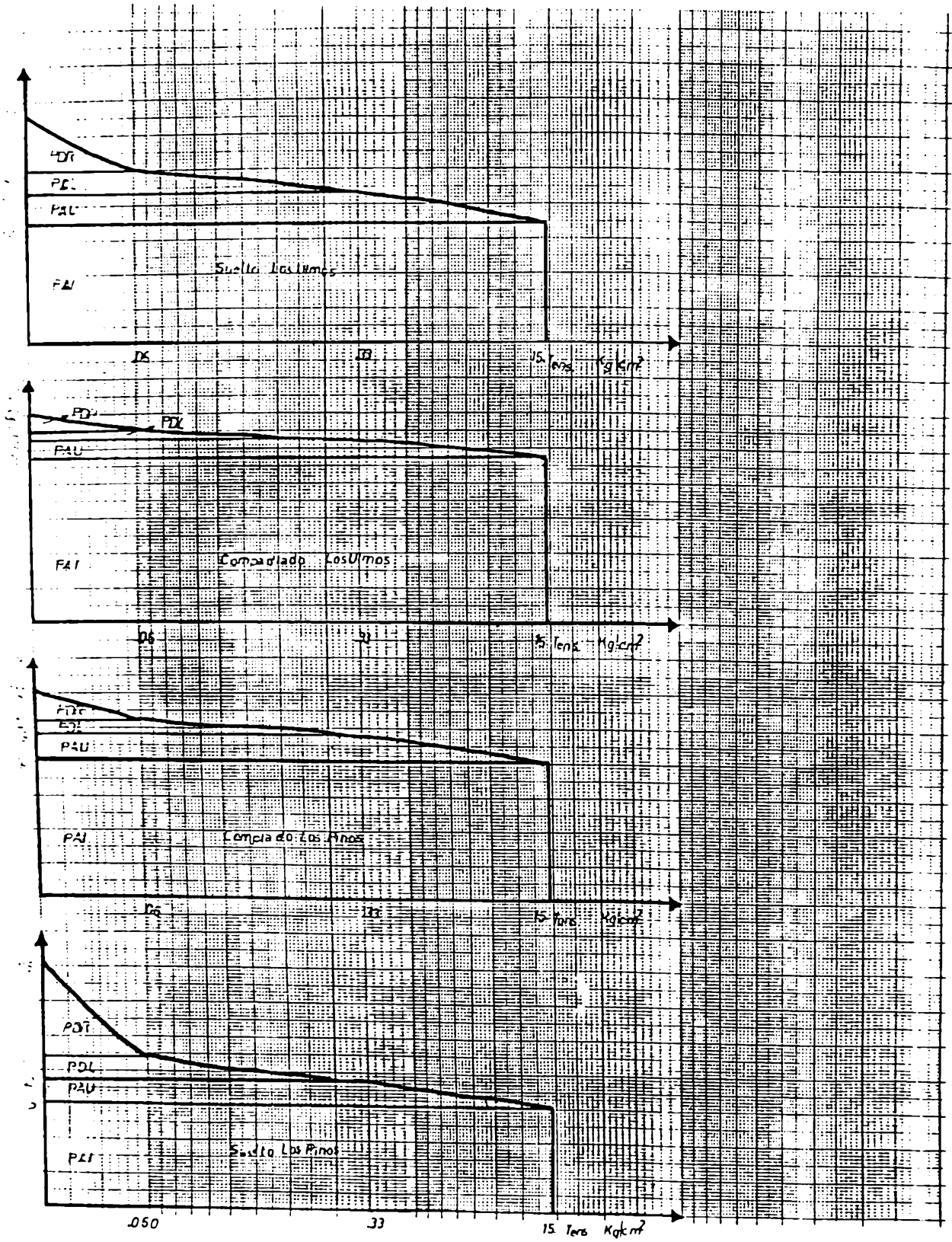
Término usado	Índice de Compresión	Límite líquido (apr)
Ligera o baja compresibilidad	0-0,19	0-30
Moderada o intermedia	0.20-0,39	31-50
Alta compresibilidad	0.40 y mayor	51 y mayor

Tabla de Plasticidad

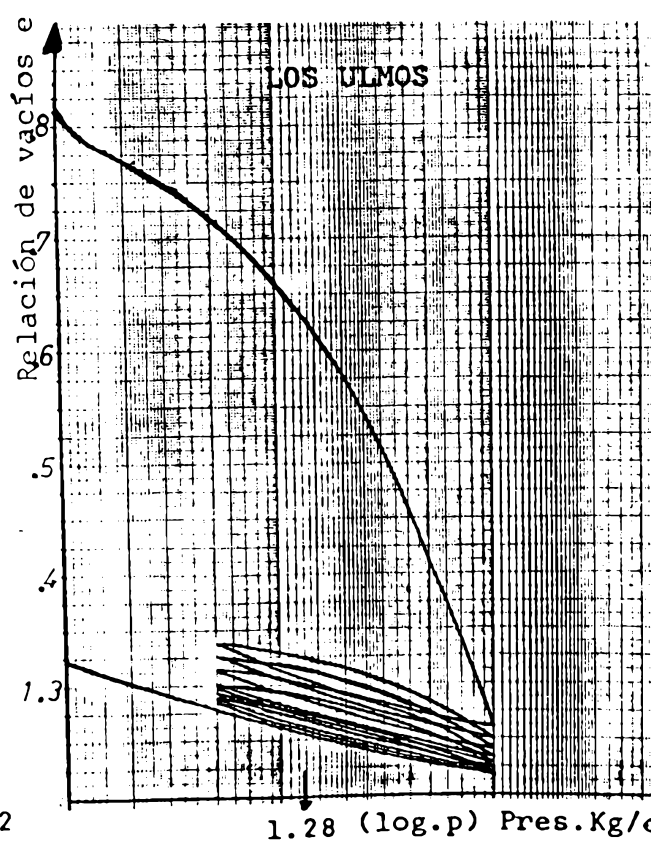
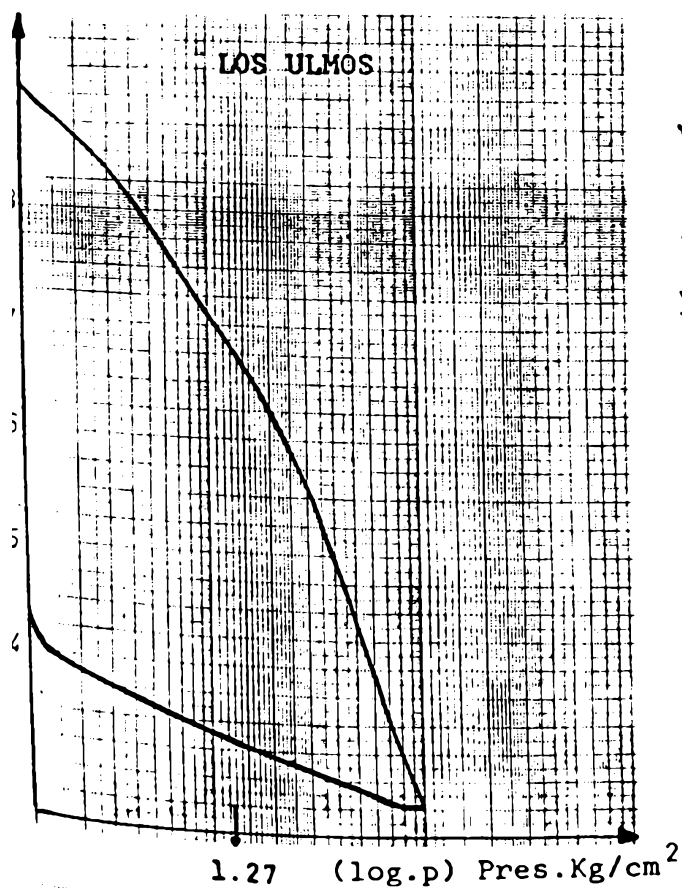
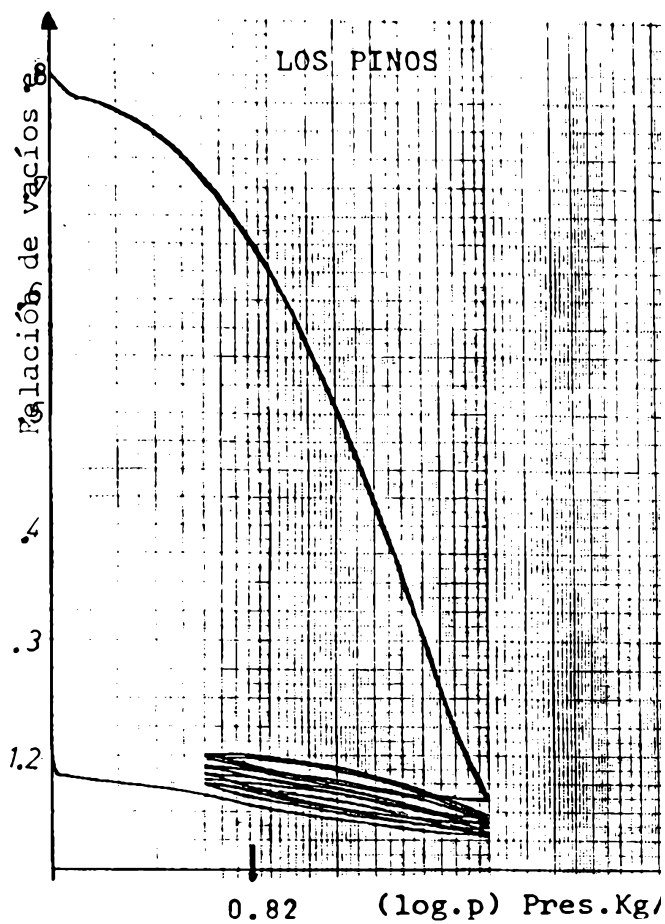
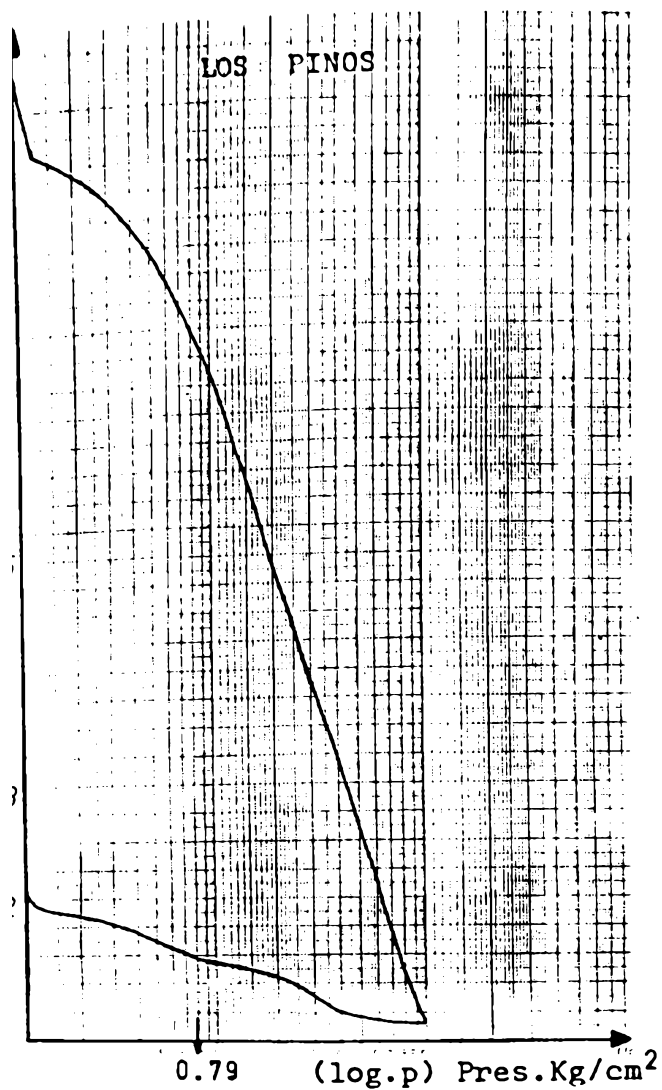
Término usado	IP	Resistencia en Est.seco	Ensayos de Campo
No plástico	0-3	Muy baja	Cae en pedazos facilmente
Ligeramente plástico	4-15	Ligera	Se tritura facilmente con los dedos
Medianamente plástico	15-30	Mediana	Difícil de triturar
Muy plástico	31 o mayor	Alta	Imposible de triturar con los dedos

ANEXO 7

Curvas típicas de humedad de los suelos inalterados y compactados.



Curvas típicas de esfuerzo - deformación y de carga y descarga determinadas a partir del ensayo de consolidación.



ANEXO 9

Factores de conversión al Sistema Internacional, actualmente en uso. ELE Catalogue (1968.

Sistema Internacional de Medidas.

AREA

1 Km ² (100 há)	243,105 acres
1 Hectárea	2,47105 acres
	10.000 m ²

MASA

1 Kg	2.204,62 lb
------	-------------

FUERZA

1 N	0,10197 Kg/f
	0,22481 lb/f
1 KN	101,971 Kg/f
	224,809 lb/f

PRESION

1 Pa (N/m ²)	0,01 mbar
	0,000145 lb-f/in ²
1 KPa(KN/m ²)	0,01 Kg-f/cm ²