

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LOS DEPARTAMENTOS DE RÍO NEGRO
Y RIVERA Y EVOLUCIÓN DE SUS PROPIEDADES AL PASAR DEL USO
PASTORIL AL FORESTAL.**

por

Andrés DIESTE

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.
(Orientación Forestal)

MONTEVIDEO
URUGUAY
1999

Tesis aprobada por:

Director:

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Fecha:

Autor:

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Caja Notarial de Jubilaciones y Pensiones, a la empresa FYMNSA, y a la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía, especialmente a la Ing. Agr. Florencia Alliaume, por la asistencia prestada para hacer posible este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	IV
 I. <u>INTRODUCCIÓN</u>	 1
II. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
A. SUELOS LIXIVIADOS DE TEXTURA LIVIANA DE RÍO NEGRO.	2
B. SUELOS LIXIVIADOS DE TEXTURA LIVIANA DE RIVERA.	6
C. EFECTOS DE CULTIVOS FORESTALES SOBRE SUELOS DE PRADERA.	11
 III. <u>METODOLOGÍA</u>	 20
A. SELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO Y MUESTREO	20
B. TÉCNICA DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO	21
1. <u>Propiedades físicas</u>	21
a. Análisis del tamaño de partículas	21
b. Densidad aparente y porosidad	22
c. Retención de agua	22
2. <u>Propiedades químicas</u>	25
a. Carbono orgánico	25
b. Nitrógeno total	25
c. Hierro extraído con ditionito de sodio	26
d. Bases intercambiables	26
e. Capacidad de intercambio catiónico	26
f. Aluminio intercambiable	27
g. Reacción en agua y KCl	27
 IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	 28
A. CJNP, RÍO NEGRO: DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO BAJO USO PASTORIL Y FORESTAL	28
1. <u>Descripción morfológica y clasificación</u>	28
2. <u>Propiedades físicas</u>	30

a.	Composición granulométrica.	31
b.	Densidad aparente y porosidad.	33
c.	Retención de agua.	35
3.	<u>Propiedades químicas.</u>	40
a.	Carbono orgánico.	42
b.	Nitrógeno total y relación C:N.	44
c.	Óxidos de hierro.	45
d.	Complejo de intercambio.	46
e.	Reacción en agua y KCl.	51
B.	FYMNSA, RIVERA: DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO BAJO USO PASTORIL Y FORESTAL	53
1.	<u>Descripción morfológica y clasificación.</u>	53
2.	<u>Propiedades físicas.</u>	55
a.	Composición granulométrica.	57
b.	Densidad aparente y porosidad	60
c.	Retención de agua	62
3.	<u>Propiedades químicas</u>	67
a.	Carbono orgánico.	69
b.	Nitrógeno total y relación C:N.	71
c.	Óxidos de hierro.	72
d.	Complejo de intercambio.	72
e.	Reacción en agua y KCl.	78
V.	<u>CONCLUSIONES.</u>	80
A.	DIFERENCIAS GENERALES ENTRE LOS SUELOS ESTUDIADOS EN LA CJNP, RÍO NEGRO, Y EN FYMNSA, RIVERA.	80
B.	DIFERENCIAS EN LOS SUELOS ESTUDIADOS DEBIDO AL PASAJE DE USO PASTORIL A FORESTAL.	81
1.	<u>Conclusiones generales.</u>	81
2.	<u>Conclusiones particulares.</u>	82
a.	CJNP, Río Negro.	82
b.	FYMNSA, Rivera.	82
VI.	<u>RESUMEN.</u>	84
VII.	<u>SUMMARY.</u>	85
VIII.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	86

IX. <u>ANEXO</u>	89
A. DESCRIPCIÓN DE PERFILES MODALES DE LA CJNP, RÍO NEGRO.	89
1. <u>N16-1p</u>	89
2. <u>N16-2p</u>	90
3. <u>N16-3f</u>	92
4. <u>N16-4f</u>	93
5. <u>N16-5f</u>	95
B. DESCRIPCIÓN DE PERFILES MODALES DE FYMNSA, RIVERA.	97
1. <u>FYM1f</u>	97
2. <u>FYM2f</u>	98
3. <u>FYM3p</u>	99
4. <u>FYM4p</u>	100
5. <u>FYM5p</u>	101
C. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN PERFIL DE PASO ATAQUES, RIVERA.	102

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°	Página
1. Promedio y desviaciones típicas de los datos de análisis mecánico para suelos de la asociación Algorta (cifras en %).	5
2. Contenido medio de bases intercambiables en los horizontes A y B para suelos de la asociación Algorta.	6
3. Promedio y desviaciones típicas de los datos de análisis mecánico para suelos de textura liviana de Rivera (cifras en %).	8
4. Precipitaciones medias (1931-1988), temperatura media anual (1948-1970) y días con heladas para los departamentos de Río Negro y Rivera.	12
5. Aporte anual al suelo de follaje por algunas especies forestales.	14
6. Extracción de nutrientes al suelo por algunas especies forestales.	14
7. Remoción de nutrientes de cultivos forestales y agrícolas en Europa Occidental durante una rotación de 100 años.	15
8. Clasificación y uso de los suelos observados en la CJNP, Río Negro.	29
9. Propiedades físicas de los suelos de la CJNP, Río Negro.	30
10. Promedio y desvío típico de los datos de análisis mecánico para los suelos de la CJNP, Río Negro (cifras en %).	31
11. Proporción media ponderada de cada fracción granulométrica y cociente entre el contenido de arcilla de los horizontes A y B para los suelos de la CJNP, Río Negro.	32
12. Porosidad en porcentaje por horizonte para los diferentes usos de los suelos de la CJNP, Río Negro.	35
13. Contenido de agua a capacidad de campo (CC) 1/3 bar, punto de marchitez permanente (PMP) 15 bar, y agua disponible, para 100 cm de suelo y para los horizontes A y E de los suelos de la CJNP, Río Negro.	37
14. Agua disponible en 100 cm de suelo y en los horizontes A y E, considerando CC a 1/10 bar y a 1/3 bar, para los suelos de la CJNP, Río Negro.	38
15. Propiedades químicas de los suelos de la CJNP, Río Negro.	41
16. Masa de carbono orgánico por profundidad y unidad de superficie en suelos de la CJNP, Río Negro.	44
17. Masa de nitrógeno total por profundidad y unidad de superficie, y relación C:N para el primer sub-horizonte de los suelos de la CJNP, Río Negro.	45
18. Coeficiente de determinación entre contenido de arcilla y de óxidos de hierro para los suelos de la CJNP, Río Negro.	46
19. CIC promedio (90% de confianza) por horizonte y uso de suelo, CJNP, Río Negro.	47

20. Coeficiente r entre CIC y las variables independientes contenido de arcilla y contenido de carbono orgánico, consideradas en conjunto y por separado para todo el perfil, los horizontes A y E, y el horizonte B de los suelos de la CJNP, Río Negro.	47
21. Contenido de bases intercambiables en los horizontes A y B de los suelos de la CJNP, Río Negro.	48
22. Masa de cationes intercambiables por profundidad y unidad de superficie para los suelos de CJNP, Río Negro.	49
23. Porcentaje de aluminio intercambiable en función del pH en KCl para tres situaciones de los suelos de la CJNP, Río Negro: todo el perfil, los horizontes A y E, y el horizonte B.	50
24. Promedio de saturación en bases (90% de confianza) determinada para cada horizonte a pH 7 y pH del suelo, CJNP, Río Negro.	51
25. Distribución de acidez determinada en agua por categoría y uso del suelo, CJNP, Río Negro.	52
26. Clasificación y uso de los suelos estudiados en FYMNSA, Rivera.	54
27. Propiedades físicas de los suelos de FYMNSA, Rivera.	56
28. Promedio y desvío típico de los datos de análisis mecánico para los suelos de FYMNSA, Rivera (cifras en %).	57
29. Proporción media ponderada de cada fracción granulométrica y cociente entre el contenido de arcilla de los horizontes A y B para los suelos de FYMNSA, Rivera.	58
30. Porosidad en porcentaje por horizonte para los usos pastoril y forestal de los suelos de FYMNSA, Rivera.	61
31. Contenido de agua a capacidad de campo (CC) 1/3 bar, punto de marchitez permanente (PMP) 15 bar, y agua disponible, para 100 cm de suelo y para el horizonte A de los suelos de FYMNSA, Rivera.	64
32. Agua disponible en 100 cm de suelo y en los horizontes A y E, considerando CC a 1/10 bar y 1/3 bar de succión de matriz, para los suelos de FYMNSA, Rivera.	65
33. Propiedades químicas de los suelos de FYMNSA, Rivera.	68
34. Masa de carbono orgánico por unidad de superficie y profundidad, en suelos de FYMNSA, Rivera.	70
35. Masa de nitrógeno total por unidad de superficie y profundidad, y relación C: N en suelos de FYMNSA, Rivera.	71
36. Promedio ponderado por espesor de sub-horizonte de porcentaje en peso de Fe_2O_3 , y coeficiente de correlación de Pearson entre el contenido de arcilla y de óxidos de hierro, ambos como porcentaje en peso, para suelos de FYMNSA, Rivera.	72

37. Coeficiente de correlación de Pearson entre CIC y las variables independientes contenido de arcilla y contenido de carbono orgánico, consideradas en conjunto y por separado, para los suelos de FYMNSA, Rivera.	73
38. CIC promedio (90% de confianza) por horizonte y uso de los suelos de FYMNSA, Rivera.	74
39. Contenido medio de bases intercambiables en los horizontes A y B de los suelos de FYMNSA, Rivera.	75
40. Masa de cationes intercambiables por unidad de superficie en 100 cm de suelos de FYMNSA, Rivera.	76
41. Promedio del porcentaje de aluminio intercambiable y del pH en KCl para los suelos de FYMNSA, Rivera.	77
42. Promedio de saturación en bases (90% de confianza) a pH 7 y pH de suelo para los horizontes A y B de los suelos de FYMNSA, Rivera.	78
43. Clasificación de la acidez determinada en agua por categoría y uso de los suelos de FYMNSA, Rivera.	79

Figura N°

1. Contenido de arcilla en función de la profundidad para los suelos de la CJNP, Río Negro.	33
2. Densidad aparente en función de la profundidad para suelos de la CJNP, Río Negro.	34
3. Promedio de retención de agua en porcentaje en peso para los horizontes A y E de los suelos de la CJNP, Río Negro.	36
4. Promedio de retención de agua en porcentaje en peso para el horizonte B de los suelos de la CJNP, Río Negro.	36
5. Distribución de carbono orgánico en función de la profundidad para los suelos de la CJNP, Río Negro.	43
6. Contenido de arcilla en función de la profundidad para los suelos de FYMNSA, Rivera.	59
7. Densidad aparente en función de la profundidad para suelos de FYMNSA, Rivera	61
8. Promedio de retención de agua en porcentaje en peso para los horizontes A y E de los suelos de FYMNSA, Rivera.	63
9. Promedio de retención de agua en porcentaje en peso para el horizonte B de los suelos de FYMNSA, Rivera.	63
10. Distribución de carbono orgánico en función de la profundidad para los suelos de FYMNSA, Rivera.	69

I. INTRODUCCIÓN.

La Ley 15939 de 1987 fue promovida con el objetivo de desarrollar el cultivo de especies arbóreas de rápido crecimiento en el Uruguay, y por lo tanto establece exoneraciones tributarias y subsidios para aquellas plantaciones que se encuentren dentro de los llamados terrenos forestales.

En el artículo 2° del Decreto Reglamentario 452/988 de dicha Ley se declaran terrenos forestales las costas arenosas del Litoral Sur, las márgenes del Río Negro, del Lago Salto Grande, de los Ríos Tacuarembó Grande, Tacuarembó Chico, Yí, Santa Lucía y San José, los grupos de clasificación CONEAT 7, 8, 9, 07, más algunos suelos marginales de los departamentos de Lavalleja, Maldonado y Florida. Estos terrenos se declaran forestales de acuerdo a su aptitud forestal, definida en el artículo 3° del mismo decreto como aquellos suelos cuyas condiciones permitan un buen crecimiento de los bosques, con una buena capacidad de enraizamiento, adecuado drenaje, y baja fertilidad natural. En un decreto posterior se agregaron los suelos del grupo CONEAT 2.

Esta Ley dio un impulso tal a la actividad que en 1998 la superficie plantada con bosques de finalidad industrial era 322.000 ha, con una tasa de plantación anual de 60.000, siendo los grupos CONEAT 7 y 9 los que cuentan con más proyectos forestales, así también como algunos de los más antiguos (Dirección Forestal, 1999). Este crecimiento implicó en la gran mayoría de los casos un cambio en el uso del suelo, desde pastoril a forestal, sin que las modificaciones que este pasaje provoca en las propiedades del suelo fueran suficientemente estudiadas.

El presente estudio se realiza en dos de las empresas forestales más antiguas del país: la Caja Notarial de Jubilaciones y Pensiones (CNJP) en la localidad de Algorta, departamento de Río Negro, y la Forestadora y Maderera del Norte S.A., en las cercanías de Tranqueras, en el departamento de Rivera. La primera comenzó sus plantaciones de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* en 1962 y en su mayoría se encuentran dentro del grupo CONEAT 9. Por su parte, desde 1974 FYMNSA planta las mismas especies de pino en suelos del grupo CONEAT 7, en las cercanías de Tranqueras, en el departamento de Rivera.

Este trabajo forma parte de las líneas de investigación que mantiene la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía sobre caracterización de suelos e impacto ambiental del cultivo de especies forestales, y persigue los siguientes objetivos:

1. **Mejorar los conocimientos y cuantificar la variabilidad de las características de los suelos lixiviados de textura franco arenosa en el horizonte superficial del Uruguay.**
2. **Obtener información básica para caracterizar y clasificar los suelos, estudiando propiedades físicas, como textura, densidad aparente, porosidad, retención de agua, y propiedades químicas, como contenido de nitrógeno, carbono orgánico, complejo de intercambio, reacción.**
3. **Hacer una primera aproximación al efecto que el cultivo de especies forestales tiene sobre estas propiedades.**
4. **Evaluar la aptitud forestal de los suelos de ambas regiones (parámetro técnico) frente a su prioridad forestal (definición técnica-administrativa).**

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

A. SUELOS LIXIVIADOS DE TEXTURA LIVIANA DE RÍO NEGRO.

Los suelos dónde se desarrollan las plantaciones de la CNJP se encuentran dentro de la asociación Algorta (Carta de Reconocimiento de Suelos 1976), que se extiende al sudoeste del departamento de Paysandú y norte del de Río Negro, en el oeste del país. De acuerdo con esta carta, los suelos dominantes son Argisoles y Planosoles Dísticos Ócricos, familia arenosa, que aparecen en las laderas de mayor pendiente (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976).

Los Argisoles y Planosoles pertenecen al Orden de Suelos Saturados Lixiviados, que se caracterizan por poseer un horizonte argilúvico muy desarrollado. Existe una diferenciación textural máxima entre horizontes que siguen la secuencia A-Bt-C. La saturación de bases es elevada, ya que la meteorización de minerales primarios repone las pérdidas por lavado (Durán, 1991).

El Gran Grupo de los Argisoles comprende suelos dónde la lixiviación de arcillas es el proceso pedogenético dominante, pero sin alcanzar grado máximo. En general no existen horizontes transicionales, A3 o B1 y/o transiciones graduales o más difusos, y no presentan un horizonte albico continuo. Los Argisoles Dísticos Ócricos presentan un horizonte superficial con una capacidad de intercambio catiónico de 10 meq/ 100 g suelo o menor (carácter dístico), y de color claro y pobre contenido de materia orgánica (carácter ócrico) (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976).

El Gran Grupo de los Planosoles incluye suelos con un horizonte argilúvico de máximo desarrollo y muy poco permeable, que ha dado origen a una napa colgada de duración considerable. Presenta un horizonte albico continuo y de espesor mayor a 3 cm, con una transición abrupta al horizonte iluvial subyacente. Se excluyen de este grupo los suelos que presenten un horizonte albico pero que estén desaturados o fuertemente meteorizados (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976). Los caracteres dístico y ócrico se explican de igual manera que para el caso de los Argisoles.

Los suelos asociados de la asociación Algorta son Brunosoles Subéutricos/Dísticos Ócricos, de igual familia textural que los dominantes y aparecen en las laderas más suaves (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976).

Los Brunosoles son un Gran Grupo dentro del Orden de los Suelos Melánicos, que agrupa a suelos caracterizados por poseer color oscuro, alto contenido de materia orgánica, elevada saturación de bases, texturas medias, drenaje bueno y carencia de reacciones extremas, sean ácidas o alcalinas. La secuencia de horizontes es A-B-C. Por definición los Brunosoles Subéutricos tiene capacidad de intercambio catiónico de 10 a

20 meq/100 g de suelo, mientras que los Brunosoles Dúricos tiene una capacidad de intercambio menor a 10 meq/100 g de suelo (Durán, 1991).

El material generador de la asociación Algorta consiste en sedimentos arcillo-arenosos cuaternarios de removilización de materiales cretáceos (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976).

La Carta Geológica 1:100.000 de Ford y Gancio, 1990, describe esta zona como parte del miembro inferior de la Formación Mercedes. Hacia la cima de los niveles sefíticos que constituyen este miembro, se hacen frecuentes y predominan areniscas medias a gruesas, cuarcíticas de color generalmente rosado, a veces amarillentas, afectadas por silicificación intensa (Ford y Gancio, 1990). Además, en la zona estudiada se describen arenas eólicas, de baja coherencia, bien seleccionada, con escasa matriz arcillosa, ya fijadas por suelo y vegetación (Ford y Gancio, 1990). Es de interés aclarar que en el presente trabajo, los perfiles estudiados tienen un predominio de arena fina a media.

El relieve consiste en lomadas suaves, interfluvios de lomadas suaves y fuertes, con escarpas asociadas (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976). En la zona de estudio el relieve es predominantemente de lomadas suaves, ya que las de mayor pendiente se encuentran más al norte.

Los suelos estudiados se encuentran dentro del grupo CONEAT 9.3, en la región del Dpto. de Paysandú que se extiende al sur de la Ruta 90, comprendiendo los alrededores de Piedras Coloradas, las plantaciones forestales de la Caja Notarial de Jubilaciones y Pensiones (CNJP), Algorta, y los alrededores de Quebracho y Palmar de Quebracho. El uso predominante fue pastoril en praderas estivales con baja densidad de malezas, con agricultura estival asociada. Actualmente la actividad forestal representa una superficie importante. La capacidad productiva de lana y carne bovina y ovina del grupo 9.3 es 88, relativa a una media productiva del país de índice 100.

En antecedente más reciente de estudio de estos suelos es un trabajo no publicado de Durán, Ruiz e Ippoliti, 1994, cuyo objetivo era la caracterización de suelos de la asociación Algorta. Se estudiaron 14 perfiles, incluyendo descripción morfológica, análisis físicos (textura) y químicos (pH, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico, bases totales, acidez intercambiable y aluminio intercambiable).

Según este trabajo, los suelos dominantes de la asociación Algorta se caracterizan por presentar un perfil profundo, de 1 m o más de espesor, de horizontes muy contrastantes, dónde las características texturales presentan escasa variabilidad, siendo la fracción arena la dominante, como se aprecia en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Promedio y desviaciones típicas de los datos de análisis mecánico para suelos la asociación Algorta (cifras en %).

Hz	Arena		Limo		Arcilla	
	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío
A	73,7	6,6	10,9	5,1	10,5	2,9
Bt	58,5	6,1	10,6	3,9	30,9	5,2

Fuente: Durán, Ruiz e Ipolitti, 1994 (no publicado).

Estos autores observan que el horizonte superficial es de 40 a 60 cm de espesor, de textura arenosa franca y estructura muy débil, con un contenido de materia orgánica que rara vez supera el 2% y una capacidad de intercambio catiónico, a pH 7, generalmente inferior a 10 meq/100 g de suelo. La suma de bases intercambiables es siempre inferior a 10 meq/100 g de suelo, y la saturación en bases se encuentra entre 50 y 75%. En la base del horizonte a menudo se identifica un horizonte E, cuya capacidad de intercambio y contenido de arcilla es menor a la del horizonte superior.

Durán, Ruiz e Ipolitti, 1994, describen la transición entre los horizontes A y B como abrupta, con este último conteniendo de 2 a 4 veces más arcilla que los horizontes eluviales. El horizonte iluvial tiene estructura gruesa y compacta, con películas de arcilla bien desarrolladas (horizonte argilúvico). Su capacidad de intercambio catiónico es 20-30 meq/100 g suelo y su saturación en bases es 70-85%.

A continuación se presenta el contenido medio de bases intercambiables.

Cuadro 2. Contenido medio de bases intercambiables en los horizontes A y B de suelos de la asociación Algorta.

Bases	Horizonte A		Horizonte B	
	Media meq/100 g	Media %	Media meq/100 g	Media %
Ca	4.5	67.8	15.7	78.5
Mg	1.1	18.6	3.4	17.8
Na	0.3	7.1	0.3	1.9
K	0.3	6.5	0.4	1.9
Bases totales	6.3	100	19.8	100

Fuente: Durán, Ruiz e Ipolitti, 1994 (no publicado).

Todos los horizontes son fuerte a medianamente ácidos, y el aluminio ocurre como catión intercambiable en la mayoría de los suelos, con una proporción de aluminio intercambiable que puede superar el 5% en algunos sub-horizontes del B (Durán, Ruiz e Ipolitti, 1994, no publicado).

Según estos autores, debe modificarse la definición de la asociación Algorta e incluir dentro de los suelos dominantes a los Luvisoles Ócricos.

B. SUELOS LIXIVIADOS DE TEXTURA LIVIANA DE RIVERA.

Las plantaciones de pino de la empresa FYMNSA se encuentran mayoritariamente sobre la asociación Tres Cerros, que está definida donde ocurre el límite entre el basalto y la arenisca, y por lo tanto dentro de la misma asociación se encuentran suelos muy disímiles. Los suelos dominantes en esta asociación son los Luvisoles y Acrisoles Ócricos (Melánicos), de familia textural arenosa (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976).

Los Luvisoles y Acrisoles pertenecen al Orden de los Suelos Desaturados Lixiviados, que incluye suelos bien desarrollados con fuerte lixiviación, con acumulación iluvial en el horizonte B, argilúvico. Este fenómeno ha provocado una pérdida de bases muy marcada y una fuerte acidificación del perfil, que puede alcanzar espesores de 1,5 a 2,0 m. La secuencia característica de horizontes es A-Bt-C (Durán, 1991).

El Gran Grupo de los Luvisoles comprende a los suelos menos meteorizados y empobrecidos del Orden. Estos suelos poseen cierta reserva de minerales primarios

alterables y la capacidad de intercambio de la fracción arcilla oscila entre 25 y 40 meq/100 g. En el horizonte argilúvico la saturación en bases es superior al 35% a pH 8,2, y es lo que los distingue de los Acrisoles. En el mismo horizonte, el contenido de aluminio intercambiable oscila entre 5 y 35 %. Los Luvisoles Ócricos son aquellos que presenta un horizonte ócrico, mientras que los Luvisoles Melánicos son los que presentan un horizonte melánico (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976).

El otro Gran Grupo que incluye el Orden son los Acrisoles, considerados los suelos más lixiviados y meteorizados. La capacidad de intercambio de la fracción arcilla es menor a 25 meq/100 g, siendo la de menor actividad conocida en los suelos del país. La saturación en bases del horizonte argilúvico es menor al 35% a pH 8,2. La acidez es muy elevada y, como consecuencia, el contenido de aluminio intercambiable es en general mayor a 35 % en el horizonte argilúvico.

Los suelos asociados en la asociación Tres Cerros son Litosoles, que aparecen en las sierras, escarpas y altiplanicies; Planosoles Dústricos, que aparecen en áreas bajas; e Inceptisoles (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976).

Tanto los Litosoles como los Inceptisoles pertenecen al Orden de los Suelos Poco Desarrollados. Los Litosoles son de espesor igual o menor a 30 cm, con una secuencia A-R. El horizonte A puede presentar grandes variaciones, tanto en morfología como en propiedades físicas y químicas. Los Inceptisoles presentan mayor profundidad que los anteriores, textura más fina que arenosa franca y sin estratificación de origen aluvial. Ocupan terrenos caracterizados por ser áreas de erosión, como ocurre en las áreas más escarpadas del frente oriental de la cuesta basáltica (unidad Tres Cerros). Efectivamente, los Inceptisoles de la asociación Tres Cerros se encuentran en las laderas escarpadas y son muy ácidos, con elevado porcentaje de aluminio intercambiable (Durán, 1991).

El material generador es areniscas de Tacuarembó y sedimentos arenosos cuaternarios, basaltos de Formación Arapey y coluviones (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976).

Según Bossi et al.1975, la Formación Tacuarembó consta de dos miembros, el Inferior y el Superior. El primero, de origen subacuático, está constituido por areniscas cuarzosas a feldespáticas; lutitas, fangolitas y limolitas; areniscas arcillosas masivas. La fracción arcilla de todas estas litologías es rica en esmectitas. El segundo miembro es de origen eólico, y su litología presenta areniscas bien seleccionadas, feldespáticas, a veces cuarzosas, arcillosas. El mineral arcilloso dominante es la caolinita.

El relieve está formado por colinas sedimentarias no rocosas, asociadas a sierras rocosas con escarpas y altiplanices (Carta de Reconocimiento de Suelos, 1976).

La cartografía CONEAT, 1979, ubica a los suelos estudiados dentro del grupo 7.2, que se localiza en toda el área de areniscas de Tacuarembó. Los suelos dominantes son Inceptisoles Melánicos/Úmbricos, moderadamente profundos, de textura franco arenosa, color pardo muy oscuro, fertilidad muy baja y bien drenados. Como asociados se encuentran Luvisoles, del tipo de las Praderas Arenosas gris amarillentas. Este grupo integra las unidades Tacuarembó y Rivera (MAP, 1979), y presenta un índice de producción de carne y lana de 61.

Durán (1973) realizó estudios en las Praderas Arenosas, actualmente Luvisoles y Acrisoles, con el objetivo de caracterizar y estudiar su génesis. En el trabajo se relevaron ocho perfiles, analizando su morfología y algunas propiedades físicas (análisis mecánico y arcilla natural) y químicas (pH, carbono orgánico, nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables, acidez intercambiable, óxidos de hierro).

Según dicho trabajo, se trata de suelos de gran diferenciación textural. El análisis mecánico muestra que la fracción arena es la dominante, y que está muy bien clasificada, predominando la fracción "fina", de diámetro 0,25-0,10 mm. La proporción de limo es baja, inferior a 15% en la mayoría de los casos. El contenido de arcilla es variable de acuerdo al grado de diferenciación de perfiles y al contenido de coloides, aunque no es posible determinar la cantidad de la arcilla formada junto con el suelo frente a la heredada del material parental (Durán, 1973).

Cuadro 3. Promedio y desviaciones típicas de datos de análisis mecánico de suelos de textura liviana de Rivera (cifras en %).

Hz	Arena		Limo		Arcilla	
	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío
A	80,28	4,93	8,53	3,19	11,17	2,30
Bt	61,51	7,01	8,32	3,23	30,27	8,26

Fuente: Elaborado por el autor a partir de datos de Durán, 1973.

En 1997 la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía estudió dos suelos de la localidad de Paso Ataques, en Rivera. Los valores obtenidos revelan que la densidad aparente oscila en un rango entre 1,40 y 1,75 g.cc⁻¹. En ambos suelos se observa un incremento gradual de la densidad aparente en función de la profundidad, para luego de alcanzado un máximo, disminuir hasta alcanzar valores similares a los de la superficie, entre 1,40 y 1,60 g.cc⁻¹ (Facultad de Agronomía, 1998, no publicado).

En el mismo trabajo se estudió la capacidad de retención de agua a distintas succiones de matriz entre 1/10 bar y 15 bar. Se obtuvieron en el horizonte A valores de retención de agua en porcentaje en peso entre 5 y 10%, con un comportamiento que revela una escasa capacidad de retener agua por encima de 1 bar de succión. Por otro lado, el horizonte B de estos suelos de Paso Ataques es capaz de retener más agua que el A, pero con un comportamiento más variable, ya que para succiones entre 1/10 y 15 bar el porcentaje en peso de agua oscila entre 15 y 27 (Facultad de Agronomía, 1998, no publicado).

Durán (1973) encontró que tanto el carbono orgánico como el nitrógeno presentan valores muy bajos. En superficie la relación C/N varía entre 8 y 12, mientras que disminuye rápidamente en función de la profundidad. La distribución en el perfil de la materia orgánica presenta un máximo en el horizonte superficial y otro en la porción superior del horizonte textural, lo que se atribuye a una traslocación asociada a la arcilla desde horizontes superiores. Por otro lado, los óxidos de hierro también sufren traslocamiento mecánico junto con la arcilla, y presentan las magnitudes máximas en el horizonte B (Durán, 1973).

Esta distribución de la materia orgánica y de los óxidos de hierro es característica de los Podzoles, aunque según un estudio de micromorfología de Durán, 1967, el humus es de tipo *Mull* (materia orgánica bien humificada y vinculada a la fracción mineral), y el hierro es traslocado en asociación con la arcilla, y no a la materia orgánica, por lo que no es posible considerar estos suelos como Podzoles (Durán, 1973).

El estudio del complejo de intercambio por Durán, 1973, arroja los siguientes resultados. Se observa que la capacidad de intercambio catiónico de estos suelos es siempre menor a 15 meq/100 g de suelo, debido al bajo contenido de arcilla, a la naturaleza de los minerales arcillosos de baja actividad (illita, metahalloysita) y al pobre contenido de coloides orgánicos. Además, se desprende de los datos que las Praderas Arenosas rojas poseen arcillas de menor actividad que las grises amarillentas. A su vez, el contenido de bases intercambiables es pobre, propio de suelos desaturados. El calcio aparece con valores menos a 4 meq/100 g de suelo; el magnesio es inferior a 3 meq/100 g de suelo; el sodio presenta valores inferiores a 0,3 meq/100 de suelo; y el potasio siempre es más bajo que el sodio.

Es característico de estos suelos el elevado contenido de aluminio intercambiable, con valores superiores a 0,5 meq/100 g de suelo. Así el porcentaje de saturación de aluminio alcanza valores frecuentes entre 40 y 50 %, con un máximo de 65% (Durán, 1973).

Estos suelos presentan acidez muy elevada, así como constante en todos los horizontes del perfil, con la mayoría de los valores de pH en agua entre 5,1 y 5,5, y los valores de pH en KCl entre 3,9 y 4,4 (Durán, 1973).

Un estudio conjunto de la Facultad de Agronomía, la Dirección de Suelos del MGAP y el Centro Nacional de Investigaciones de Suelos del Departamento de Agricultura de los EE.UU (USDA) caracterizó y estudió suelos en nuestro país en 1997, entre los cuáles se encuentra un Acrisol Ócrico de Rivera, cercano a las plantaciones de FYMNSA. A continuación se presenta un resumen de los resultados, mientras que los datos analíticos se presentan en el Anexo.

Este estudio describe un suelo profundo, que supera los 2 m, aún sin alcanzar el C, de los cuales 71 cm forman parte del horizonte A. La textura es liviana en el horizonte superficial, con un contenido de arena superior a 68%. A su vez, el contenido de arcilla aumenta en el B hasta un máximo de 39% en detrimento de la arena, ya que el contenido de limo se mantiene prácticamente constante en valores inferiores a 11,5%. El mineral secundario dominante es la caolinita (ver Anexo).

Según este trabajo, la densidad aparente se encuentra entre 1,49 y 1,66 cc.g⁻¹, con el mínimo valor en el horizonte a mayor profundidad. No se observa relación con la textura, ya que no existe una tendencia en las variaciones (ver Anexo).

La capacidad de retención de agua se determinó a 1/3 y 15 bar de succión, considerados para estos suelos de textura liviana los puntos de capacidad de campo y de marchitez permanente, respectivamente. El volumen de agua disponible en 100 cm de profundidad calculada a partir de estos datos es 101,4 mm, y el volumen de agua disponible en el horizonte A es 74,3 mm, lo que representa el 70% del total de agua del suelo (ver Anexo).

En cuanto a las propiedades químicas, los datos de dicho estudio arrojan que el contenido de carbono orgánico como porcentaje en peso no supera el 0,8 en ningún horizonte, con un mínimo de 0,3 en el Bt3. Calculando un índice de acumulación del USDA (ver Metodología) se obtienen para los primeros 20 cm y 100 cm de suelo, 2,36 y 9,56 kg.m².100 cm, respectivamente. Por lo tanto, se trata de un suelo pobre en carbono, donde las mayores concentraciones se encuentran por debajo de los 20 cm, y donde se aprecia claramente la distribución típica de materia orgánica de estos suelos. El suelo es asimismo pobre en nitrógeno, que tiene un comportamiento similar al carbono en cuanto a la distribución en el perfil (ver Anexo).

Se observa una traslocación mecánica de hierro junto con la arcilla, ya que el coeficiente de correlación entre el contenido de arcilla y de hierro es prácticamente uno (USDA, 1997).

Tanto la capacidad de intercambio catiónico como el contenido de bases intercambiables es muy bajo, debido al pobre contenido de materia orgánica y a la baja actividad de fracción mineral, y en ambos casos los máximos se encuentran en la parte superior del horizonte B (ver Anexo).

El suelo es fuertemente ácido en casi todo el perfil, por lo que no sorprende que el aluminio intercambiable sea alto en todo el perfil, y especialmente en el horizonte argilúvico. El porcentaje de aluminio intercambiable supera en algunos casos el 45% (ver Anexo).

C. EFECTO DE CULTIVOS FORESTALES SOBRE SUELOS DE PRADERA.

La producción forestal de Uruguay se desarrolla en ecosistemas de praderas utilizados desde hace más de tres siglos para ganadería, o en suelos agrícolas degradados. Los estudios taxonómicos que dieron lugar a la clasificación por aptitud forestal definen los suelos de prioridad forestal, que son los que combinan buenas condiciones para la producción de árboles sin que compitan con otros usos considerados económicamente superiores (PRAIF, 1994).

Las propiedades de los suelos son entonces las que limitan las regiones forestales, aunque son los factores climáticos, como radiación solar, regímenes de lluvias, temperaturas y heladas, los esenciales para la adaptación y crecimiento de las especies arbóreas (PRAIF, 1994).

A continuación se presenta un cuadro dónde se resumen algunas variables climáticas de los departamentos Río Negro y Rivera.

Cuadro 4. Precipitaciones medias (1931-1988), temperatura media anual (1948-1970) y días con heladas para los departamentos de Río Negro y Rivera.

Variables climáticas	Río Negro	Rivera
Precipitaciones medias 1931-1988 mm/año	1107	1280
Temperatura 1948-1970 media anual	18	18
Días con heladas	27	25

Fuente: Atlas Climatológico del Uruguay; Facultad de Agronomía, 1978; Dirección Nacional de Meteorología, 1989, citados por el PRAIF, 1994.

El conjunto de estos factores, sumados a aspectos geológicos, hidrográficos y biológicos, da lugar a una vegetación dominante, la pradera. Se entiende por tal a las comunidades vegetales compuestas por plantas herbáceas con total o parcial dominancia de especies de gramíneas. Estas comunidades fueron modificadas por sus usos anteriores según fueran éstos agrícolas o pastoriles, dando lugar a nuevos ecosistemas (PRAIF, 1994).

Una característica de la pradera actual es el alto número de especies, más de seiscientas, lo que presupone un equilibrio muy inestable entre ellas, y explica la rápida modificación de la composición botánica (número de especies y proporción de cada una de ellas) ante cambios ambientales. Son dos los factores principales de diversificación de la pradera natural: uno es la combinación de suelos y topografía, y el otro es la ganadería. En cuanto al primero, entre los muchos factores edáficos que afectan la vegetación, es fácil apreciar cómo la fertilidad y la capacidad de retener agua van a condicionar la presencia y distribución de especies. El segundo factor, la ganadería, influencia prácticamente la totalidad del territorio desde hace 360 años y su efecto se acentuó en los últimos 125 años por la introducción de los ovinos. La intensidad del pastoreo, por el doble efecto del diente y pisoteo, parece ser la causa más notoria de modificación del tapiz pratense (Del Puerto, 1987).

La bibliografía internacional sobre modificaciones en el suelo debido al cultivo de árboles está referida a situaciones muy diferentes a las que se encuentran en Uruguay. Sin embargo, es útil para los objetivos de este trabajo presentar algunos datos que ilustran estas modificaciones.

Spurr y Barnes, 1980, afirman que los suelos con cobertura arbustiva o de pradera se desarrollan de forma completamente diferente a los suelos forestales. Bajo una pradera natural, la densa masa radicular cercana a la superficie resulta en un mayor contenido superficial de materia orgánica y arcillas, dando origen a un suelo oscuro y fértil que es posible de detectar aún luego de mucho tiempo de desaparecida esa vegetación (Spurr y Barnes, 1980).

Los mismos autores indican que uno de los fenómenos que ocurren bajo bosques en regiones templadas es la podolización, que consiste en un proceso de percolación ácida que transporta en función de la profundidad arcilla, partículas orgánicas y minerales iónicos, como hierro y aluminio, dejando un horizonte A formado predominantemente por sílice. En los bosques de las regiones templadas de suelos moderadamente ácidos, el ácido carbónico es el mayor agente lixivador (McColl y Cole, 1968; Cole et al., 1975, citados por Spurr y Barnes, 1980), aunque en suelos de menor acidez son los ácidos orgánicos como el fúlvico, derivado de la descomposición del follaje de coníferas, los que toman el rol preponderante en el proceso de lixiviación. Este proceso es dominante en todos los suelos forestales de la mayoría de los climas templados, y debe considerarse un proceso natural e inevitable de formación de suelo en esas condiciones (Spurr y Barnes, 1980).

Según Bonneau et al., 1986, la acidificación del suelo resulta de la reducción de la capacidad del suelo de neutralizar la acidez. Esta es la consecuencia de aportes continuos de protones, desde fuera o dentro del ecosistema. Las principales fuentes externas de acidez son fundamentalmente originadas a partir de las precipitaciones atmosféricas (agua de lluvia) y la actividad humana (contaminación industrial), y la fertilización, especialmente con amoníaco.

Las fuentes de origen interno son la extracción de cationes por la vegetación, la transformación y oxidación de la materia orgánica, la oxidación de los compuestos nitrogenados y de los minerales constituyentes del suelo.

El material orgánico depositado por los bosques, tanto naturales como implantados, desempeña un papel importante en las condiciones físicas, químicas, biológicas y de la fertilidad del suelo (Paula Lima, 1996). En el siguiente cuadro se resume la deposición media anual de follaje para algunas especies forestales de cultivo frecuente en el Uruguay.

Cuadro 5. Aporte anual al suelo de follaje por algunas especies forestales.

Especie	Edad años	Masa anual $\text{kg. ha}^{-1} \text{año}^{-1}$	Referencias
<i>E. tetricornis</i>	12	7070	Pande y Sharma, 1986
<i>E. grandis</i>	27	4225	Turner y Lambert, 1983
<i>E. saligna</i>	7-10	4490	Poggiani, 1985
<i>P. taeda</i>	9	4392	Poggiani et al., 1987

Fuente: Modificado a partir de Paula Lima, 1996.

Las tasas anuales de remoción de nutrientes del suelo por cualquier plantación forestal son mucho menores que las tasas presentadas por los cultivos agrícolas (Paula Lima, 1996). Los cuadros 6 y 7 ilustran esta afirmación.

Cuadro 6. Extracción de nutrientes al suelo por algunas especies forestales y agrícolas.

Especie	Edad años	N	P	K	Ca	Referencias
		$\text{kg. ha}^{-1} \text{año}^{-1}$				
<i>E. grandis</i>	27	16,1	0,9	11,7	36,0	Turner y Lambert, 1983
<i>E. saligna</i>	10	21,9	5,8	19,1	95,4	Poggiani, 1985
<i>P. radiata</i>	20	36,5	1,5	11,4	12,4	Baker y Attiwill, 1985
<i>Triticum aestivum</i>	1 cosecha	80,0	8,0	12,0	1,0	Fontoura et al., 1988

Fuente: Modificado a partir de Paula Lima, 1996.

Las coníferas y especialmente los pinos difieren de la mayoría de los cultivos agrícolas en que es posible su crecimiento con menor cantidad de nutrientes, como se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Remoción de nutrientes de cultivos forestales y agrícolas en Europa Occidental durante una rotación de 100 años.

Uso del suelo	Nutrientes kg.ha ⁻¹		
	P	K	Ca
Pinos	52	225	502
Coníferas	101	578	1082
Latifoliadas	124	556	2172
Cultivos agrícolas (pasturas, papas, cereales, etc.).	1063	7413	2422

Fuente: Rennie, 1955, citado por Spurr y Barnes, 1980.

Spurr y Barnes, 1980, citando a Fisher y Stone, 1969, indican que en suelos pobres en nitrógeno algunas coníferas tienen la propiedad de mineralizar o extraer el nitrógeno del suelo que no es aprovechable por la vegetación herbácea anterior, debido en parte a las relaciones con micorrizas ectotróficas. Por otro lado, según Switzer y Nelson, 1972, la retraslocación de nitrógeno desde las acículas senescentes hasta los brotes y el follaje es una fuente importante para el *Pinus taeda*, e indican que en una plantación de esta especie el 39% de los requerimientos de se alcanzan de esta manera (Spurr y Barnes, 1980).

Uno de los escasos estudios recientes disponibles fue realizado en Colombia, por la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF) en 1998, como parte de un programa de evaluación sistemática del impacto ambiental causado por la actividad forestal. Este trabajo, realizado por T. León y A. Suárez, estudia el efecto de las plantaciones forestales de *Eucalyptus grandis* y *Pinus patula* sobre suelos y agua, y resulta interesante porque, si bien tiene objetivos muy ambiciosos, acordes con el proyecto en el que está incluido, plantea un método científico atractivo, cuyos conceptos centrales son aplicables al Uruguay. Por otro lado, incluye una exhaustiva revisión bibliográfica, recopilada en dos capítulos, uno para eucaliptos y otro para pinos. Para este último, León y Suárez, 1998, afirman que la información se encuentra dispersa en numerosos estudios y esto lo atribuyen a que el género *Pinus* no ha sufrido un cuestionamiento ambiental tan intenso como los eucaliptos. A continuación se presentará un breve resumen concentrado en la sección de pinos, que es la de mayor relevancia en este caso.

En lo referente a las propiedades físicas, un estudio de Cortés y otros, 1985, citado por León y Suárez, 1998, realizado en el Departamento de Cundinamarca, Colombia, sobre efectos en el suelo como consecuencia del pasaje de un bosque andino

original a un bosque artificial de pinos, cipreses y eucaliptos, encontró que las principales modificaciones fueron: el agrietamiento severo y la prismatización de la estructura, la destrucción de la estructura en el horizonte superficial (0-7 cm), la transformación del régimen de humedad edáfica hacia condiciones secas, y la variación y disminución apreciable de la actividad biológica. No se adjuntan datos sobre el estudio.

En cuanto a las propiedades químicas, Calvo y otros (1978) afirman que el mantillo (*litter*) bajo bosque de pinos presenta mayor acidez que los horizontes minerales, con alta acumulación de materiales poco descompuestos. La baja biodegradabilidad del *litter* de pino puede ser causado por los polifenoles y ligninas que resisten el ataque de microorganismos (Benoit y Starkey, 1980, citados por León y Suárez, 1998). Por otro lado, el género produce sustancias resinosas que inhiben la actividad biológica o que dificultan el humedecimiento del suelo, bloqueando sus poros (Millar, 1974; Coulson y otros: Cortés, 1985, citados por León y Suárez, 1998). Noifalises y Vanesse, 1975, citados por León y Suárez, 1998, afirman que las acículas son menos ricas en proteínas que la mayor parte de las hojas de especies nativas europeas, lo que resulta en una relación C:N elevada. Los mismos autores indican que el *litter* de coníferas libera derivados fenólicos que son inhibidores bacterianos. El flujo vertical de complejos orgánicos (podolización) y pérdida de cationes por lavado se atribuye a plantaciones masivas de *Pinus sp.*, ya que Fahey y Yavitt, 1988, citados por León y Suárez, 1998, encontraron cambios en la concentración de carbono orgánico disuelto y en los contenidos de hierro, aluminio, nitrógeno y fósforo, relacionados con traslocaciones por vía orgánica.

Urrego, 1996, citado por León y Suárez, 1998, contrarresta los efectos negativos anteriormente citados, afirmando que los incrementos de la acidez en suelos reforestados con coníferas reportados en los artículos de Webler, 1978; Evans, 1976; Whyte, 1973; Hopman y otros 1980 y Fancke, 1990-91, fueron temporales y los valores de acidez regresaron a sus niveles previos poco después de establecida la plantación. En cuanto a la podolización, este autor indica que este fenómeno no es exclusivo de las coníferas, ya que sobre este tipo de suelo se encuentran extensas áreas forestadas con arces y robles de los EEUU y Francia (Urrego, 1996, citado por León y Suárez, 1998). No se aportan datos ni se menciona mayor información.

El trabajo de León y Suárez se llevó a cabo en la región central de Colombia sobre suelos de origen volcánico, seleccionando dos sitios bajo plantaciones de *Eucalyptus grandis* de 3 a 5 años de edad y dos sitios bajo plantaciones de *Pinus patula* de 15 años de edad, con el propósito de estudiar las propiedades físicas y químicas de los suelos, el estatus de nutrientes, la erosión y el balance hídrico frente a praderas de *Pennisetum clandestinum* e *Hipharrenia rufa* seleccionadas como testigos. El diseño experimental para determinar las variaciones en las propiedades físicas y químicas fue al

azar con arreglo factorial. Se tomaron 16 estaciones de muestreo, abriendo calicatas de 2x2x2 metros, que fueron descritas morfológicamente y de cuyos horizontes se extrajeron muestras, a la que se les realizaron los siguientes análisis: estabilidad estructural (método de Yoder), densidad aparente (método del terrón parafinado), densidad real (método del picnómetro), conductividad hidráulica (método del flotador de campo), velocidad de infiltración (método de anillos concéntricos), capacidad de retención de humedad (método de las membranas y ollas de presión) nitrógeno total (método de Kjeldal), carbono orgánico (método de Walkley y Black), fósforo disponible (método de Bray II), capacidad de intercambio catiónico y bases totales (extracción con acetato de amonio).

En cuanto a los efectos en las propiedades físicas de los suelos bajo *Pinus patula* el trabajo colombiano concluye que en uno de los dos sitios no se encontraron diferencias significativas con el testigo, mientras que en el otro sitio se encontraron evidencias de posibles efectos negativos en la estructura del horizonte B bajo cobertura forestal. Por otro lado, en uno de los sitios estudiados con cobertura de *Eucalyptus grandis* los autores encontraron evidencia de mejoramiento en la densidad aparente frente al testigo, así también como mecanismos más eficientes en la retención y almacenamiento de agua y en la velocidad de infiltración, aunque la conductividad hidráulica era menor que en el testigo. En el otro sitio estudiado bajo eucaliptos no se encontró diferencias significativas en las propiedades físicas.

Las propiedades químicas estudiadas por los autores colombianos en los suelos con cobertura de pino arrojan las siguientes conclusiones. En uno de los suelos la relación C:N presenta lo previsible: valores altos en el mantillo y bajos en el horizonte superficial de la pradera. Sin embargo, en el otro sitio la relación C:N es alta y de magnitud similar, dificultando la explicación de estos resultados. El contenido de nutrientes en uno de los sitios es mayor en el suelo de pradera, mientras que en el otro sitio el contenido de nutrientes calculado sobre la base del volumen de suelo es mayor en el suelo forestal.

León y Suárez afirman que en ambos sitios bajo pino no es posible atribuir un efecto negativo de las plantaciones en la fertilidad. Por otro lado, observan que en los suelos forestales la acidez es consistentemente más baja que en los de pradera.

En cuanto a las propiedades químicas bajo cultivo de *Eucalyptus grandis* varían mucho de acuerdo a la posición geomorfológica, aunque en ambos sitios estudiados los autores colombianos no pueden concluir que haya un efecto definitivo de las plantaciones sobre la acidez del suelo. En uno de los sitios no es posible separar claramente el efecto de la cobertura frente a otros efectos, como la posición geomorfológica, el origen y la evolución de los suelos. Sin embargo, el contenido de materia orgánica resultó ser significativamente mayor en las plantaciones en diferentes

posiciones del paisaje. Por otro lado, en el otro sitio estudiado se encuentra que el suelo con cobertura de eucaliptos está más desaturado, así también como que los contenidos de bases intercambiables son más altos bajo pradera.

En el trabajo colombiano se entiende por estatus de nutrientes al estudio de la distribución de algunos macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) en los siguientes compartimentos: biomasa total, mantillo forestal y edafón (comprende la suma de los horizontes A y B). En el caso de las plantaciones bajo pino encontraron que en uno de los dos sitios el contenido de macronutrientes en la biomasa era mayor al testigo y que el mantillo era un compartimento de gran importancia en cuanto a la acumulación de nutrientes. A su vez, en el otro sitio no se encontraron diferencias significativas entre el contenido de nutrientes de la plantación y el testigo, y además el edafón probó ser el compartimento donde se acumulaban más nutrientes. Bajo eucaliptos, León y Suárez afirman que en uno de los sitios la biomasa forestal fue significativamente más pobre en nutrientes que el testigo, por lo que el edafón se presenta como la mayor reserva de nutrientes. Sin embargo, en el otro sitio no se encuentra diferencia entre biomasa forestal y testigo.

En cuanto a la erosión, el trabajo colombiano concluye que tanto las plantaciones de *Pinus patula* como de *Eucalyptus grandis* ofrecen protección efectiva al suelo contra las pérdidas por erosión.

Sobre el balance hídrico, León y Suárez afirman que, tanto para plantaciones de pinos y eucaliptos, la intercepción es estadísticamente superior que en el testigo, así como el drenaje profundo es mayor en suelos con cobertura de pradera, con excepción de un caso, donde el drenaje profundo es igual para ambas coberturas. La humedad del suelo se conservó en niveles altos en praderas y plantaciones forestales de ambos géneros, aunque en uno de los casos se encontró una tendencia del suelo bajo pradera a mantener mayores contenidos de humedad.

Este trabajo concluye que el material parental y el clima influyen fuertemente en propiedades como contenido de materia orgánica, fósforo, capacidad de intercambio catiónico y densidad aparente, enmascarando el efecto de la cobertura, con excepciones como en el caso del pH ácidos para suelos bajo plantaciones de *Pinus patula*, donde es claro el efecto de la cobertura. Esta poca consistencia hallada entre parcelas ubicadas en las mismas plantaciones, pero en diferentes posiciones geomorfológicas, así también como la variabilidad en función de la profundidad hace que sea necesario referirse a condiciones locales.

La bibliografía sobre modificaciones en suelo de pradera producto del pasaje al uso forestal en condiciones similares a las del Uruguay es escasa. En el ámbito nacional, los trabajos publicados hasta el momento son evaluaciones de la incidencia del cultivo de árboles en el suelo, combinando los conocimientos actuales de los suelos del país con estudios realizados bajo condiciones naturales diferentes. El INIA publicó en 1997 una Serie Técnica que describía el impacto de la forestación con eucaliptos sobre los recursos naturales y el ambiente. En lo referente a suelos, este trabajo toca los siguientes puntos: erosión, degradación y dinámica de nutrientes.

Según el INIA, la presencia de biomasa vegetal, especialmente árboles, protege al suelo de la acción erosiva de la lluvia. Por lo tanto, los problemas de erosión existen cuando no hay cobertura: primeros estadios de desarrollo de los bosques e inmediatamente después de raleos y cosechas (ver Denis&García, 1997). Los suelos arenosos, por su alta capacidad de infiltración, resistirían mejor la erosión cuando la cobertura no esté afectada, ya que tienen estructura débil.

En cuanto a la degradación, este trabajo afirma que si bien los suelos forestales son laboreados esporádicamente, algunos suelos de estructura frágil y texturas arenosas pueden sufrir un deterioro en la productividad. La compactación durante la cosecha debida al tránsito de maquinaria pesada también puede provocar degradación (INIA, 1997).

A su vez, la forestación puede afectar propiedades químicas como la reacción, que generalmente se acidifica. Sin embargo, esta Serie Técnica destaca que no hay trabajos nacionales que hayan cuantificado el efecto. En cuanto a la extracción de nutrientes, los autores citan a Gonçalves, 1995, que en un bosque de *Eucalyptus grandis* de Brasil encontró que 290 m³/ha de madera sin corteza contenía 116 kg./ha de nitrógeno, 11 kg./ha de fósforo, 113 kg./ha de potasio y 47 kg./ha de calcio. Las cantidades correspondientes en la corteza fueron 42, 10, 59 y 77 kg/ha. Por otra parte, el INIA afirma que dada la naturaleza química de los residuos del bosque es previsible un alto grado de inmovilización de nitrógeno, lo cual podría inducir deficiencias de este nutriente. El fósforo probablemente no sería una limitante dada la cantidad consumida por los árboles, la relativa abundancia en los suelos, la capacidad de exploración de las raíces y la asociación con micorrizas. La demanda de potasio y calcio puede provocar deficiencias a largo plazo, ya que las cantidades extraídas son significativas (INIA, 1997).

Sin embargo, el INIA destaca la importancia de obtener información científica sobre los procesos básicos de la dinámica de nutrientes en los sistemas forestales.

III. METODOLOGÍA.

A. SELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO Y MUESTREO.

Se seleccionan las plantaciones de la CNJP, en Río Negro, y las de FYMNSA, en Rivera, utilizando los siguientes criterios:

- Plantaciones forestales coetáneas de al menos 15 años de edad de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*
- Suelos similares con diferentes coberturas.
- Estudios edafológicos anteriores.
- Plantaciones con manejo silvicultural conocido.

Las plantaciones de la CNJP se encuentran aproximadamente a 5 km al SW de la localidad de Algorta, departamento de Río Negro, sección Judicial 12. El estudio se concentra en el área comprendida por las fotografías aéreas N° 1378 y 1464, misión 1981.

El cultivo forestal dominante en la zona son rodales de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*, con un plan de manejo silvicultural que incluye podas y raleos, con el objetivo de producir madera de alta calidad de aserrío. Otras especies cultivadas por la empresa pertenecen a los géneros *Populus* y *Eucalyptus*. Las observaciones en suelo bajo uso pastoril se realizaron en praderas sin mejoras para pastoreo de baja intensidad.

Por otra parte, los suelos estudiados de FYMNSA se encuentran 25 km al oeste del km 472 de la Ruta 5, en el paraje La Aurora, departamento de Rivera, sección Judicial 3.

La zona es típicamente forestal, con plantaciones de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* y *Eucalyptus grandis*, manejadas para permitir la producción de madera de calidad para aserrío. Por otro lado, las praderas donde se realizan calicatas tienen predominancia de especies estivales, y están destinadas a un pastoreo de baja intensidad.

En cuanto a la obtención de datos, si bien no se hace un diseño estadístico, se busca variabilidad definiendo cinco sitios de estudio en cada región, tres bajo bosque y dos testigos bajo pradera. Se realiza fotointerpretación sobre fotos aéreas escala 1:20.000, definiéndose grandes áreas a relevar de suelo en uso pastoril y forestal. Dentro de éstas, se identifican sitios donde posteriormente se hacen observaciones con taladro, buscando suelos de características morfológicas similares, pero bajo diferentes usos. De esta manera, se definen los cinco sitios, tanto en CNJP como en FYMNSA,

para realizar las observaciones detalladas. En ambos lugares, se estudia una situación diferente a las cuatro restantes: en la CNJP se hace una observación bajo una plantación de *Eucalyptus grandis*, sin manejo silvicultural, mientras que en FYMNSA, bajo una plantación de *Pinus taeda*, se estudia un suelo de características morfológicas muy disímiles al resto de las observaciones.

Los suelos se estudian en calicatas de 2 m de largo por 1,5 de ancho y 1,5 de profundidad, con excepción de la CNJP, dónde en dos casos las calicatas son de 1x1x1 m. En cada una se hace descripción morfológica del suelo, con extracción de muestras de aproximadamente 1 kg de suelo para análisis físicos y químicos

B. TÉCNICAS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.

Los análisis de suelos los realiza el autor, asistido por el plantel docente, en el Laboratorio de Edafología de la Facultad de Agronomía. Las excepciones son los análisis de nitrógeno total y aluminio intercambiable que fueron hechos en el Laboratorio del Sur S.R.L.

Los datos obtenidos se agrupan y discuten por las propiedades del suelo que describen, tanto químicas o físicas. En algunos casos se emplean herramientas de estadística descriptiva, pero este trabajo no pretende hacer una análisis estadístico de la información obtenida.

1. Propiedades físicas.

a. Análisis de tamaño de partículas.

Se utiliza el método del densímetro, Bouyoucos (1926), Casagrande (1934) y Ponce de León (1998). La teoría se basa en que dada una altura h , la sedimentación hará desaparecer en un tiempo t todas las partículas que tengan velocidades de hundimiento mayores a h/t , mientras que se mantendrán a esa profundidad todas las partículas cuya velocidad de hundimiento sea menor a h/t . Utilizando un densímetro, se determina la concentración de sólidos en suspensión (Black, 1965).

La muestra de suelo seca, sin destrucción de materia orgánica, se dispersa con hexametáfostafo de sodio, para luego separar las partículas por mezclado turbulento. A partir de mediciones de densidad se determina la arcilla, mientras que la proporción de arena se obtiene por determinación directa, tamizando la muestra. A su vez, el limo se obtiene por diferencia.

b. Densidad aparente y porosidad.

Se utiliza el método del cilindro, que consiste en secar y pesar una muestra de volumen conocido de suelo (Black, 1965).

El aparato que se utiliza para extraer muestras no perturbadas de suelo consiste en un cilindro hueco con uno de los extremos afilado, y el otro adaptado para recibir los golpes de una maza que lo harán penetrar en el suelo. Dentro del cilindro se ajustan dos aros de volumen conocido; el primero absorbe el esfuerzo de penetración y el segundo es el que se utiliza para extraer la muestra. La densidad aparente se calcula como el cociente entre el peso de la muestra seca en horno y el volumen del cilindro.

Tomando una densidad promedio de las partículas minerales de 2.65 g.cc^{-1} y conociendo la densidad aparente, la porosidad es la diferencia entre 1 y el cociente de la densidad aparente sobre la densidad promedio estimada (Pritchett, 1991).

c. Retención de agua.

La retención de agua de un suelo es la humedad del mismo a una succión de matriz específica (Black, 1965).

La muestra de suelo, saturada de agua, generalmente no perturbada, se coloca firmemente sobre un plato poroso al cual se aplica una succión determinada. La muestra de suelo alcanzará eventualmente el equilibrio con el plato, cuyos poros están también saturados de agua (Durán et al., 1992). La muestra se retira del plato, previa descompresión, determinando el contenido de agua secando las muestras a 105°C hasta obtener peso constante. El contenido de agua se expresa en términos de porcentaje de peso seco (Black, 1965), y el porcentaje en volumen se obtiene al multiplicar el porcentaje en peso de la muestra por la densidad aparente del suelo (Durán et al., 1992).

En Uruguay se utilizan como estimadores de la capacidad de campo (CC) en muestras imperturbadas los valores obtenidos a 1/10 bar de succión de matriz, mientras que para muestras perturbadas se utilizan los valores obtenidos a 1/3 bar de succión de matriz (Durán et al., 1992). Sin embargo, el USDA estima la CC de campo en suelos de textura similar a los del presente trabajo a 1/3 bar de succión de matriz, utilizando tensiones más bajas, 1/10 y aún 1/20 bar, para suelos de textura más liviana (USDA,

1995). Por lo tanto, en el presente trabajo se estima la retención de agua a 1/3 y 1/10 de succión de matriz, para luego presentar los valores obtenidos y tratar de arribar a alguna conclusión sobre el punto, especialmente al evaluar el efecto de la estimación en la macroporosidad, calculada como:

Macroporosidad = Porosidad total (%) – CC de campo en volumen

La macroporosidad se estima para aquellos suelos dónde se determina la CC mediante mediciones directas, y no mediante cálculos.

El punto de marchitez permanente (PMP) se estima como el contenido de agua retenida a 15 bar de succión de matriz (Durán et al., 1992).

Algunos valores de capacidad de retención de agua en porcentaje en peso no fueron medidos directamente, sino que se estimaron a partir de ecuaciones presentadas en la bibliografía.

Para todos los suelos estudiados, el contenido de agua gravimétrico a 15 bar de succión (PMP) se calcula a partir de la siguiente ecuación, desarrollada por Fernández, 1979, y citada por Silva et al., 1988, que presenta un coeficiente de determinación de 0,812:

$$\text{PMP} = -58,1313 + 0,3718 (\text{MO}) + 0,5683 (\text{Ar}) + 0,6414 (\text{L}) + 0,9755 (\text{Ac})$$

PMP: HP% a 15 bar

MO: % materia orgánica

Ar: % arena

L: % limo

Ac: % arcilla

Para los suelos N16-1p, N16-2p y N16-3f, el %HP a 1/10 bar se estima utilizando dos ecuaciones, una para los horizontes A y el E, y otra para el B. Ambas fueron propuestas por Silva et al., 1988 y los coeficientes de determinación son 0,943 y 0,838, respectivamente.

Para el horizonte A y E, el %HP a 1/10 se calcula:

$$\%HP\ 1/10\ bar = 8,658 + 2,571 (MO) + 0,296 (L)$$

MO: % materia orgánica

L: % limo

Para el horizonte B, el %HP a 1/10 bar se calcula:

$$\% HP\ a\ 1/10\ bar = 6,797 + 0,848 \% (HP\ a\ 1/3\ bar)$$

Al comparar los datos obtenidos directamente para los suelos N16-4f, N16-5f, FYM1f, FYM4p y FYM5f, con los calculados para estos mismos suelos a partir de las ecuaciones presentadas, se alcanza un coeficiente de determinación de 0,696.

Para estimar la CC a 1/3 bar en los todos los horizontes de los suelos FYM3p, FYM4p, los horizontes B3 y C del suelo FYM2f y el horizonte B1 del suelo FYM5f se utiliza la siguiente ecuación, propuesta por Fernández, 1979, y que presenta un coeficiente de determinación de 0,864.

$$\% HP\ a\ 1/3\ bar = - 42.5228 - 0,0714 (MO) + 0,4186 (Ar) + 0,7143 (L) + 0,9811 (Ac)$$

MO: % materia orgánica

Ar: % arena

L: % limo

Ac: % arcilla

Para estimar el %HP a 1/10 en el horizonte B1 del suelo FYM5f se emplea la siguiente ecuación, propuesta por Silva et al., 1988, y que presenta un coeficiente de determinación de 0,838.

$$\% HP\ a\ 1/10\ bar = 6,797 + 0,848 (\% HP\ a\ 1/3\ bar)$$

El agua disponible se obtiene de la diferencia entre el volumen de agua retenido a 15 bar y el volumen de agua retenido a 1/3 bar.

2. Propiedades químicas.

a. Carbono orgánico.

Se utiliza el método de Walkley-Black, donde la materia orgánica del suelo es oxidada con bicromato de potasio. Esta reacción se favorece con el calor que aporta el agregado de ácido sulfúrico. El exceso de bicromato es titulado con sal de Mohr y la cantidad de sustancia oxidada se calcula a partir del bicromato reducido (Black, 1965).

Este método también se utiliza para determinar el contenido de carbono orgánico de las muestras de mantillo, por lo que es necesario considerar ese valor con las reservas del caso, ya que difícilmente el bicromato oxide toda la materia orgánica presente en dichas muestras.

Se calcula el índice de acumulación de carbono en función de la profundidad (USDA, 1995) a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Producto (kg./m}^2\text{)} = \%P_{co} \cdot 0,1 \cdot Dap \cdot H \cdot F$$

$\%P_{co}$: Porcentaje en peso de carbono orgánico.

0,1: Factor constante de conversión.

Dap: Densidad aparente en g.cc⁻¹.

H: Espesor del horizonte en cm.

F: Factor de fragmentos. Si el suelo no tiene fragmentos rocosos presentes, el factor es 1; de lo contrario calcular el F a partir de las ecuaciones 4 y 5 en la columna 4 del Soil Survey Investigation Report N° 45.

b. Nitrógeno total.

El análisis de nitrógeno total se realiza para todos los sub-horizontes del A y la primera porción del B, por considerar que en los tipos de suelos estudiados el contenido de nitrógeno a mayor profundidad es muy menor, y sin relevancia para este trabajo.

Se utiliza el método de Kjeldahl, sin inclusión de nitratos. El nitrógeno en la muestra es convertido a amonio mediante digestión con ácido sulfúrico concentrado. Luego se determina la cantidad de amoníaco liberado por la destilación del amonio con un álcali, utilizando ácido bórico como indicador y titulando con ácido clorhídrico (Black, 1965). Este análisis fue realizado en el Laboratorio del Sur S.R.L.

Es importante advertir que este método también se emplea para determinar el nitrógeno total en el mantillo, y que por lo tanto el valor puede estar subestimado.

Se calcula el Índice de Acumulación de nitrógeno total a partir de la ecuación del USDA presentada para el carbono orgánico. En este caso se sustituye %P_{eo} (porcentaje en peso de carbono orgánico) por %N (porcentaje en peso de nitrógeno total). De acuerdo a la disponibilidad de datos de determinaciones de N, para los perfiles de la CNJP, Río Negro, se calcula el índice para 30 cm de profundidad, mientras que para los perfiles de FYMNSA, Rivera, se calcula para 50 cm de profundidad.

c. Óxido de hierro extraído con ditionito de sodio.

Se estudia el contenido de hierro con el objetivo de caracterizar químicamente los suelos, utilizando el método de Kilmer. Se reduce y extrae el hierro utilizando ditionito de sodio. Los óxidos de hierro se determinan por titulación con bicromato de potasio (Bornemisza e Igue, 1967; citados por Durán, 1973).

De acuerdo a los métodos más actuales de presentación y comentario de datos, se recomienda expresar los óxidos de hierro libre como porcentaje en peso de hierro libre (Durán, 1999, com.per.). Sin embargo, como esta metodología es reciente, en este trabajo se presentan los datos como hierro libre, pero se comentan como porcentaje en peso de óxidos de hierro, con el objetivo de facilitar la comparación con los antecedentes.

d. Capacidad de intercambio catiónico.

Se utiliza el método de saturación en acetato de amonio. Se lava el suelo con un exceso de acetato de amonio 1 N para extraer los cationes intercambiables y saturar el material de intercambio con amonio. Se desplaza el amonio del suelo con cloruro de sodio acidificado. La solución se destila y se recoge en ácido bórico, para luego titular el amonio con ácido sulfúrico (Black, 1965).

La capacidad de intercambio catiónico a pH del suelo se determina mediante la suma de las bases totales más el aluminio intercambiable.

e. Bases intercambiables.

A partir del percolado de acetato de amonio normal, se determinan el calcio, el magnesio, el potasio y el sodio por espectrofotometría de absorción atómica.

La conversión de meq/100 g de suelo seco a $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ se calcula aplicando la fórmula del USDA, 1995:

$$B = B_1 \cdot P \cdot 1000 \cdot \text{Dap} \cdot H \cdot F$$

B = Base en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para la profundidad de suelo definida.

B_1 = Base en meq/100 de suelo seco.

P = Peso miliequivalente del elemento (Ca:0,02; Mg:0,012; K:0,039; Na:0,023)

Dap: Densidad aparente en $\text{g} \cdot \text{cc}^{-1}$.

H: Espesor del horizonte en cm.

F: Factor de fragmentos. Si el suelo no tiene fragmentos rocosos presentes, el factor es 1; de lo contrario calcular el F a partir de las ecuaciones 4 y 5 en la columna 4 del Soil Survey Investigation Report N° 45.

f. Aluminio intercambiable.

Extracción con cloruro de potasio. Se percola la muestra con cloruro de potasio, y luego se titula la acidez con hidróxido de sodio (Black, 1965). Este análisis fue realizado en el Laboratorio del Sur S.R.L.

g. Reacción.

Se mide por potenciometría. La determinación se hace en agua y cloruro de potasio 1N, utilizando una relación suelo:líquido 1:2,5.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A. CNJP, RÍO NEGRO: DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO BAJO USO PASTORIL Y FORESTAL.

1. Descripción morfológica y clasificación.

Los suelos estudiados de la CNJP presentan una secuencia de horizontes A-E-Bt-C o bien A-Bt-C, con una abrupta diferenciación textural entre el horizonte A y el Bt. En la mayoría de los casos se observa un horizonte álbico sobre el horizonte B. Se trata de horizontes muy profundos, ya que en ninguno de los cinco perfiles estudiados se pudo determinar la profundidad total del perfil. El horizonte A es de textura liviana, muy permeable y con estructura débil. El horizonte B es de textura arcillosa, muy lentamente permeable y con estructura muy fuerte, que representa una barrera para la exploración radicular (ver Anexo).

En los suelos estudiados el horizonte A tiene un espesor del entorno de 40 cm, y se divide en dos o tres sub-horizontes. Los colores oscuros, pardos o grisáceos, y en general los colores más oscuros, se encuentran en el sub-horizonte más superficial. La textura es liviana, arenosa franca, y la estructura es de bloques sub-angulares, pequeños a medios, que pueden ser débiles a moderados. Se trata de un material muy friable, que permite abundante exploración radicular (ver Anexo).

En todos los suelos estudiados, excepto el N16-5f, se encontró un horizonte álbico sobre el horizonte B, siempre continuo y de más de 3 cm de espesor.. El color es pardo grisáceo, en algunos casos oscuro. La textura es siempre franco arenosa, liviana. La estructura es de bloques sub-angulares débiles o masiva y generalmente presentan características asociadas a un exceso de humedad, como moteados y concreciones de hierro y manganeso. En este perfil, las raíces son abundantes en el suelo N16-1p y N16-2p, pero de presencia moderada en el N16-3f y N16-4f. La transición con el horizonte B es siempre abrupta (ver Anexo).

El horizonte B textural aparece en los cinco suelos estudiados, de textura arcillo arenosa. Es de color gris oscuro, pardo o negro, con un evidente enriquecimiento en arcilla de origen eluvial: se observan moteados, concreciones de hierro y manganeso, películas de arcilla y estructura prismática fuerte, con consistencia plástica a pegajosa, por lo que se lo puede definir como argilúvico. La exploración radicular es escasa y ocurre entre las fisuras de los prismas, especialmente si la cobertura es arbórea (Ver Anexo).

El horizonte C se alcanza solamente en el N16-1p, obteniendo la muestra con taladro a 240 cm de profundidad. Es de color pardo amarillento a pardo amarillento, con un escaso moteado blanco, y la textura es franco arcillosa pesada (ver Anexo).

Los suelos se clasifican utilizando la nomenclatura vigente, a partir de la descripción morfológica a campo y los análisis de propiedades físicas y químicas que se realizan en el laboratorio.

En el siguiente cuadro se presentan los diferentes suelos descriptos, junto con el uso actual y algunas observaciones sobre la cobertura.

Cuadro 8. Clasificación y uso de los suelos observados en la CNJP, Río Negro.

Suelo	Clasificación	Uso	Observaciones
N16-1p	Luvisol Melánico Albico	Pastoril	Pastura regenerada densa, muy vieja, baja intensidad de pastoreo.
N16-2p	Planosol Dístico Ócrico	Pastoril	Pastura regenerada densa, muy vieja, baja intensidad de pastoreo y evidencia de uso agrícola anterior.
N16-3f	Planosol Dístico Ócrico	Forestal	Primer rotación de un rodal de <i>Pinus taeda</i> de más de 15 años.
N16-4f	Luvisol Ócrico Albico	Forestal	Primer rotación de un rodal de <i>Pinus taeda</i> de más de 15 años.
N16-5f	Luvisol Ócrico Abrúptico	Forestal	Primer rotación de un rodal de <i>Eucalyptus grandis</i> de más de 15 años, mantillo muy espeso.

2. Propiedades físicas.

A continuación se presentan los datos de composición granulométrica, densidad aparente, porosidad y retención de agua de los suelos estudiados, junto con un análisis comparativo de estas propiedades.

Cuadro 9. Propiedades físicas de los suelos, CNJP, Río Negro ¹.

Hz	Prof. cm	Análisis mecánico			D. Ap g.cc ⁻¹	Porosidad %	Retención de agua Succión en bar					
		Arena	Limo	Arcilla			1/10	1/3	1	3	15	
		----- %	----- %	----- %			----% de agua en peso ----					
N16-1p	A1	0-19	84,9	12,9	2,2	1,64	38	15,3	18,8	11,4	10,5	0,9
	A2	19-37	84,3	12,2	3,5	1,75	34	13,8	8,2	8,1	9,0	1,2
	A3	37-48	84,2	11,1	4,7	1,67	37	12,8	12,8	6,5	5,3	1,6
	E	48-56	82,1	12,6	5,4	1,69	36	13,1	11,3	6,4	5,8	1,9
	Bt1	56-66	61,8	9,6	28,6	1,61	39	18,5	13,8	13,0	12,2	11,6
	Bt2	66-77	59,0	11,2	29,8	1,58	40	26,0	22,7	21,5	20,4	11,9
	Bt3	77-97	60,5	16,4	23,1	1,68	37	21,4	17,3	16,1	15,0	9,4
	Bt4	97-140	56,2	18,1	25,7	1,85	30	17,8	13,0	11,9	11,0	10,5
C	240-260	79,7	9,5	10,9			n/d					
N16-2p	A1	0-18	88,5	8,4	3,1	1,60	40	11,9	8,1	8,2	6,4	0,7
	A2	18-40	85,2	10,6	4,2	1,69	36	12,2	5,9	5,2	4,8	1,2
	A3	40-53	86,7	10,3	3,0	1,64	38	11,8	6,5	4,4	3,9	0,7
	E	53-71	87,4	7,1	5,5	1,76	34	10,9	5,7	4,6	3,6	1,5
	Bt1	71-100	63,6	18,1	18,9	1,50	43	26,0	22,7	21,5	20,1	11,8
N16-3f	A1	0-14	83,7	13,3	2,9	1,54	42	13,1	9,9	7,8	6,4	0,9
	A2	14-37	76,7	16,8	6,5	1,67	37	14,1	9,5	7,8	7,8	2,7
	E	37-52	83,6	9,4	7,1	1,69	36	11,7	6,8	4,6	4,1	2,3
	Bt1	52-63		n/d		1,65	38	21,1	16,9	15,4	14,1	
	Bt2	63-80	55,2	27,6	17,2	1,62	39			n/d		
N16-4f	A1	0-15	81,6	12,5	5,9	1,58	40	12,9	9,4	10,4	6,5	2,1
	A2	15-30	70,4	23,8	5,9	1,67	37	10,1	8,4	7,0	4,9	2,9
	E	30-50	82,8	11,9	5,3	1,71	35	12,7	9,6	9,2	6,3	1,8
	Bt1	50-60	52,9	16,3	30,8	1,55	42	17,3	15,4	14,9	12,9	12,6
	Bt2	60-90	62,3	8,4	29,3	1,80	32	17,7	16,1	15,4	14,3	11,3
	Bt3	90-120	65,8	11,0	23,1	1,95	26	14,5	13,4	12,5	10,3	8,9
N16-5f	A1	0-12	82,1	14,4	3,5	1,43	46	10,4	8,7	8,2	6,1	1,4
	A2	12-27	85,2	5,3	9,5	1,58	40	10,9	8,7	10,4	6,7	3,1
	A3	27-38	79,0	8,8	12,2	1,65	38	12,7	10,1	10,0	7,4	4,5
	Bt1	38-54	59,9	13,2	26,9	1,45	45	21,6	19,4	18,2	15,8	10,7
	Bt2	54-78	62,8	14,0	23,3	1,41	47	18,1	16,0	15,1	13,2	9,2
	Bt3	78-102	71,2	9,4	19,4	1,75	34	13,4	11,9	11,1	9,9	7,3

¹ Los valores de retención de agua en cursiva se obtienen a partir de las fórmulas presentadas en la Metodología.

a. Composición granulométrica.

Los suelos estudiados son homogéneos en cuanto a las características texturales: la fracción arena es dominante, no hay fracciones mayores a la arena, existe un horizonte argilúvico y la transición entre este último y el horizonte superficial es abrupta en todos los casos (ver cuadro 9 y Anexo). Los valores elevados de arena son propios del material generador, la Formación Mercedes, pero además las observaciones N16-1p, N16-2p, N16-3f y N16-4f se hacen sobre un área que Ford y Gancio, 1990, identifican como una zona de areniscas eólicas, de baja coherencia, fijada por el suelo y la vegetación.

En el siguiente cuadro se observa la participación media por tamaño de partícula en los horizontes A y B, junto con la variación que se observa en el conjunto de los suelos.

Cuadro 10. Promedio y desvío típico de los datos de análisis mecánico para los suelos de la CNJP, Río Negro (cifras en %).

Hz	Arena		Limo		Arcilla	
	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío
A	82.79	4.89	12.63	4.56	4.58	2.07
Bt	62.50	7.31	13.29	5.61	24.21	6.87

En los cinco suelos estudiados la arena alcanza los contenidos más altos frente a las otras fracciones, aunque es en el horizonte más superficial donde la supremacía es más evidente. Por otro lado, se desprende del cuadro la escasa variación que tiene el contenido de arena entre los suelos observados. En el horizonte A la arcilla muestra una tendencia a aumentar levemente en profundidad, pero siempre se mantiene en valores muy bajos, mientras el limo presenta escasa variación en el perfil (ver Anexo, cuadros 9 y 10).

En el horizonte argilúvico se observa que la arena permanece como la fracción dominante, pero aumenta sustancialmente el contenido de arcilla, mientras el limo aumenta muy levemente. El contenido de arcilla tiene un máximo de 31.2 % en el N16-2p y un mínimo de 17% en el N16-3f, aunque siempre es ampliamente superior al contenido de arcilla en el horizonte superficial (ver Anexo, cuadros 9 y 10).

El siguiente cuadro presenta las proporciones medias de cada tamaño de partícula para cada suelo, ponderadas por el espesor de los horizontes eluvial e iluvial, junto con el cociente entre el contenido de arcilla de ambos horizontes, también ponderado por espesor y sin considerar el horizonte E.

Cuadro 11. Proporciones medias de cada fracción granulométrica y cociente entre el contenido de arcilla de los horizontes B y el A, para los suelos de la CNJP, Río Negro.

Uso	Suelo	Arena	Limo	Arcilla	B/A
		%	%	%	
Pastoril	N16-1p	68.6	14.4	17.0	8.0
	N16-2p	80.1	7.9	11.9	8.9
Forestal	N16-3f ²	74.3	17.1	8.5	3.3
	N16-4f	69.2	12.7	18.0	4.5
	N16-5f	72.6	10.7	16.7	2.4

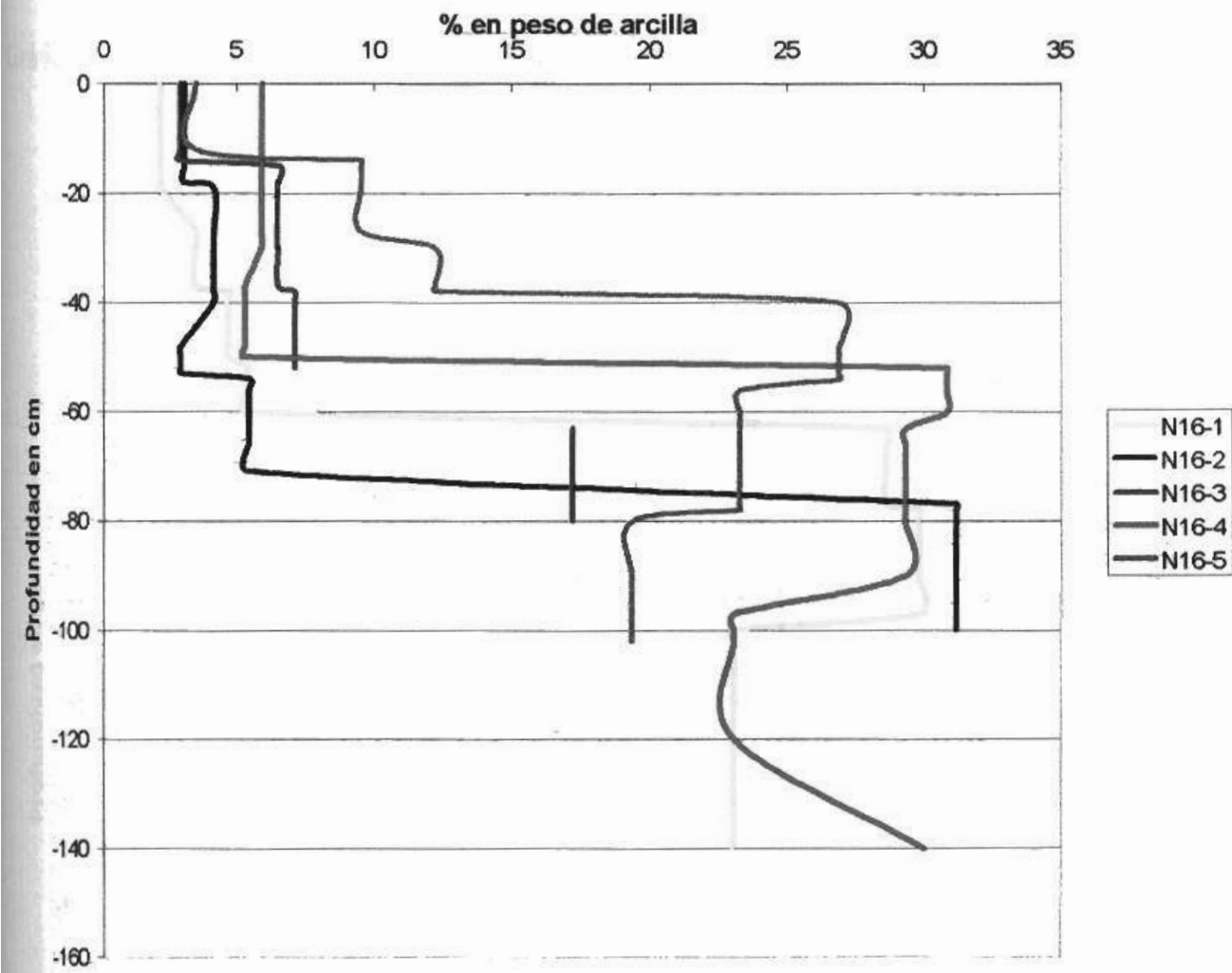
Se desprende del cuadro que la fracción dominante es la arena, seguida por la arcilla y por último el limo. El suelo N16-3f es la única excepción, que sin embargo probablemente no sea tal, ya que el contenido de arcilla se ve reducido al no contar con los valores para el Bt1.

Las magnitudes del cociente arcilla B/ arcilla A son un claro indicio del grado de lixiviación que sufre el perfil. Se observa que los suelos bajo pradera son los que presentan mayor desarrollo del horizonte argilúvico, y por lo tanto, mayor lixiviación. Sin embargo, estos datos no permiten afirmar que la lixiviación sea menor bajo bosque, ya que Durán, Ruiz e Ippoliti, 1994 (no publicado), encontraron en suelos bajo pradera contenidos de arcilla en el horizonte superficial similares a los de los suelos N16-3f, N16-4f y N16-5f (ver cuadros 9 y 10). Por otro lado, no hay fundamento teórico que explique, desde el punto de vista del uso del suelo, la disminución en la relación arcilla B: arcilla A.

La distribución de la arcilla en función de la profundidad se observa en la gráfica N° 1.

² No hay datos disponibles para el sub-horizonte Bt1.

Gráfica 1. Contenido de arcilla en función de la profundidad, para los suelos de la CNJP, Río Negro.



Se observa claramente en la gráfica la pobreza de arcilla en el horizonte superficial y la presencia del horizonte textural a aproximadamente 55 cm de profundidad (ver cuadro 7).

b. Densidad aparente y porosidad.

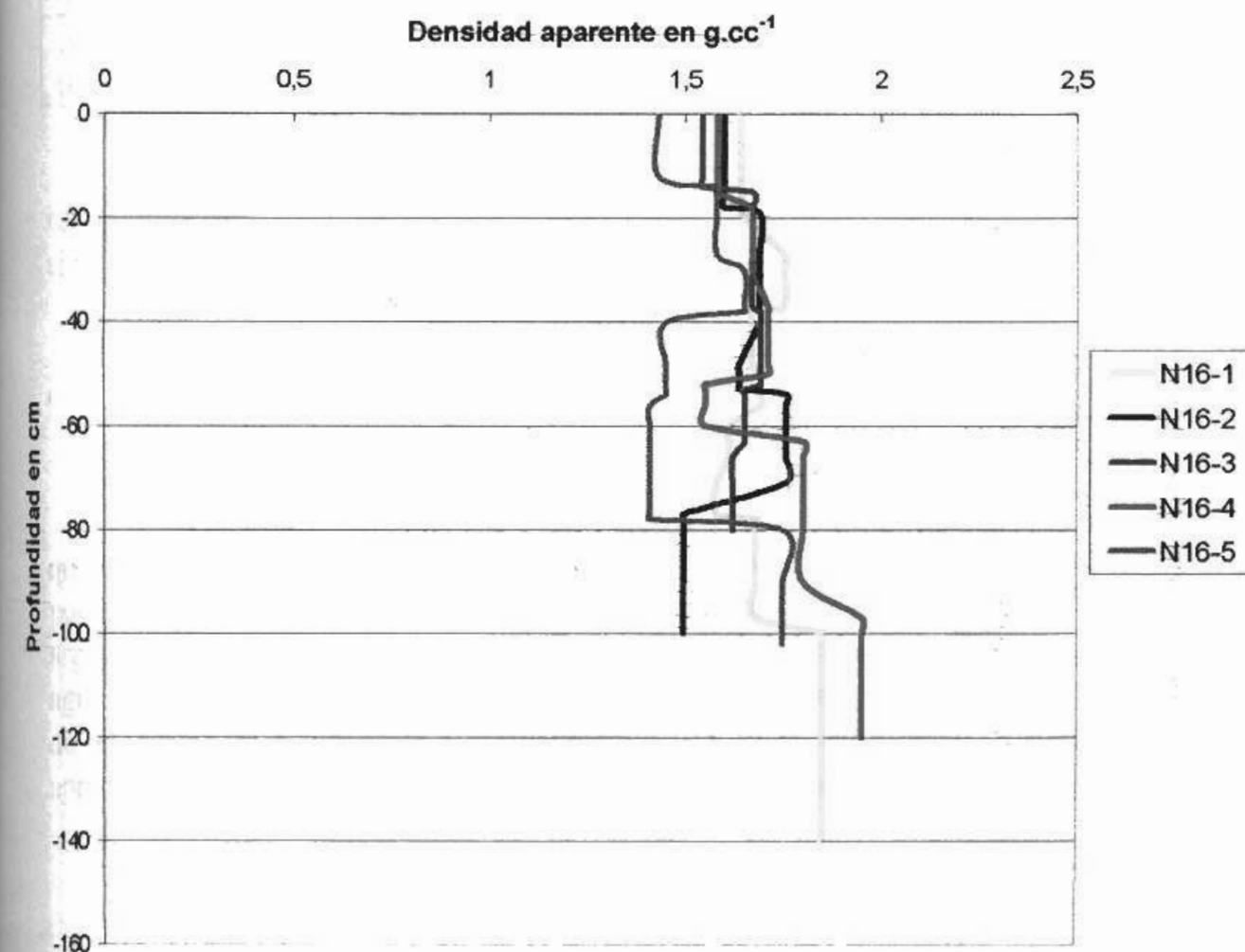
Ambas propiedades se analizan en conjunto debido a la obvia relación que existe entre ellas (ver Metodología).

La densidad aparente de todos los suelos observados se encuentra entre 1,41 y 1,95 g.cc⁻¹, con un valor promedio de 1,65 ± 0.16 g.cc⁻¹ (90% de confianza) lo que

demuestra la baja variabilidad de esta propiedad.

La densidad aparente en función de la profundidad se presenta en la siguiente gráfica.

Gráfica 2. Densidad aparente en función de la profundidad, para suelos de la CNJP, Río Negro.



Se observa un aumento de la densidad aparente en los horizontes más profundos, pero sin seguir una tendencia lineal (ver cuadro 9).

Por otro lado, la porosidad se encuentra entre 35 y 40%, con valores algo menores en los horizontes más profundos. No se observa compactación en los sub-horizontes superficiales de los suelos forestales.

El siguiente cuadro describe estadísticamente los datos de porosidad en el horizonte superficial y en el argilúvico, considerando el uso del suelo.

Cuadro 12. Porosidad en porcentaje por horizonte para los diferentes usos de los suelos de la CNJP, Río Negro.

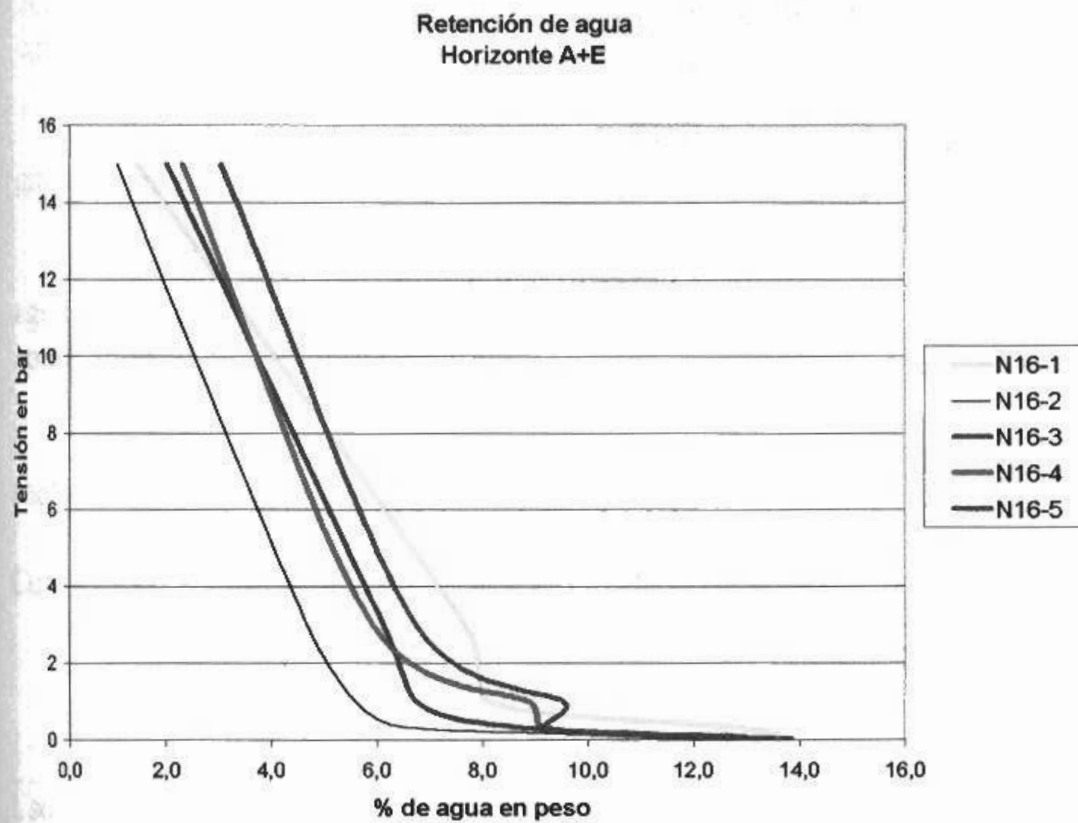
Hz	Pastoril		Forestal	
	Media	Desvío	Media	Desvío
A	37.1	2.0	40.0	3.2
Bt	38.0	5.0	37.8	6.9

Se desprende de estos datos que el uso del suelo no afecta fundamentalmente esta propiedad, y al menos en el primer turno de producción forestal los valores son muy similares a los de pradera (ver cuadro 9).

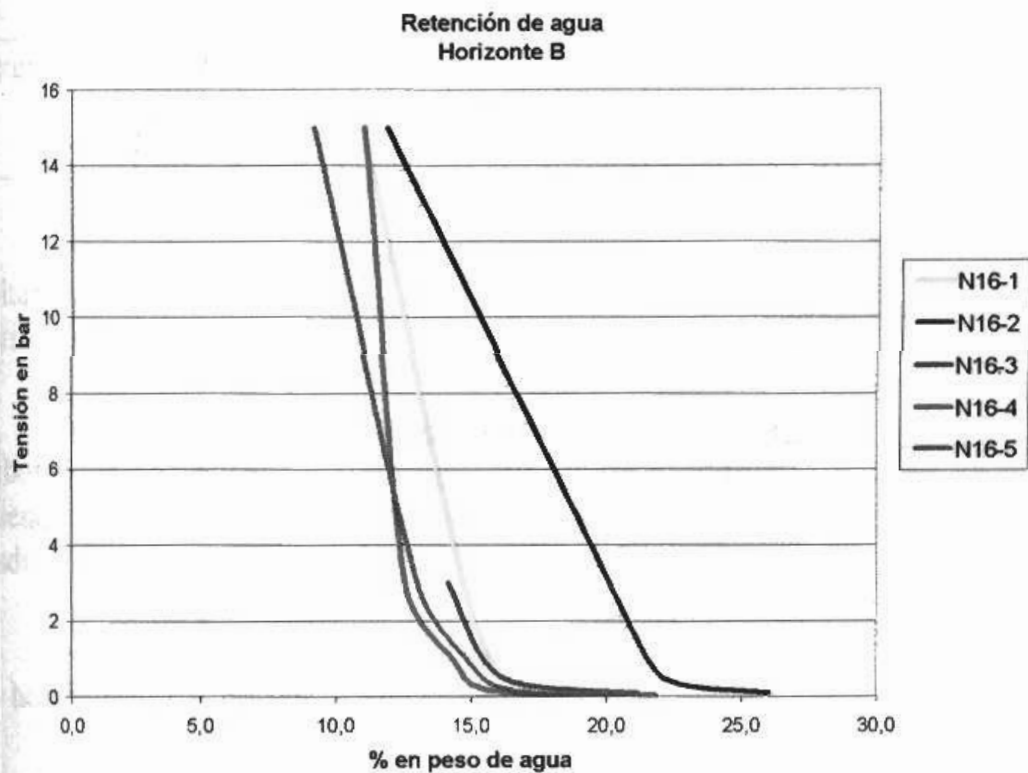
c. Retención de agua.

La retención de agua de estos suelos está afectada por la diferenciación textural que existe en el perfil. El horizonte A tiene bajo contenido de arcilla y por lo tanto pocos microporos y baja capacidad de retener agua. Por otro lado, el horizonte argilúvico es, por definición, más rico en arcilla y capaz de retener mayor volumen de agua. A medida que aumenta la tensión, es más notoria la diferencia entre la capacidad de retención de agua entre los horizontes A y el B, aunque a 15 bars de succión no se aprecian variaciones importantes entre un horizonte y otro.

Gráfica 3. Promedio de retención de agua en porcentaje en peso para los horizontes A+E de los suelos de la CNJP, Río Negro.



Gráfica 4. Promedio de retención de agua en porcentaje en peso para el horizonte B, CNJP, Río Negro.



Se observa la clara diferencia que existe entre la capacidad de agua de los horizontes superficiales y del horizonte argilúvico. A mayor contenido de arcilla, mayor capacidad de retener agua.

El suelo N16-2p es claramente capaz de retener una mayor proporción de agua gravimétrica, aún a succiones altas (ver cuadro 9).

Por otro lado, es interesante conocer las diferencias que surgen en la retención de agua a partir de los diferentes usos, tanto en un perfil de profundidad tipo de 100 cm, como en la zona de mayor exploración radicular, es decir, los horizontes A y E.

El siguiente cuadro compara el contenido de agua disponible en los diferentes suelos y bajo los usos pastoril y forestal.

Cuadro 13. Contenido de agua a capacidad de campo (CC) 1/3 bar, punto de marchitez permanente (PMP) 15 bar, y agua disponible, para 100 cm de suelo y para los horizontes A y E de los suelos de la CNJP, Río Negro.

Uso	Suelo	CC	PMP	Disponible	CC	PMP	Disponible	% del total
		mm. 100 cm			A+E			
Pastoril	N16-1p	250,1	89,0	161,1	123,2	12,2	111,0	69
	N16-2p	175,9	64,1	111,7	77,1	12,7	64,4	58
Forestal	N16-3f ³	105,8	18,0	87,7	75,1	18,0	57,1	65
	N16-4f	213,3	116,0	97,2	76,1	18,3	57,8	59
	N16-5f	198,9	101,9	97,0	53,9	17,8	36,1	37

El cuadro es elocuente en señalar que los suelos de uso pastoril tienen mayor volumen de agua disponible, tanto para los primeros 100 cm de suelo como para los horizontes A y E.

A partir de los cálculos presentados se puede afirmar que la gran diferencia entre ambos usos radica en el volumen de agua retenida en el PMP: los suelos forestales retienen un volumen importante de agua aún a presiones de succión muy altas (ver cuadros 9 y 13).

Por otro lado, también se destacan claramente los valores de agua disponible en los horizontes de mayor exploración radicular, el A y el E. En todos los casos, los

³ Los cálculos están hechos para 80 cm de profundidad.

suelos forestales retienen más el agua, dejando disponibles volúmenes inferiores que los suelos pastoriles. La interpretación de estas diferencias como consecuencia de una mayor compactación del suelo bajo bosque está en primera instancia descartada, ya que los datos de porosidad no lo revelan (ver cuadros 9 y 12).

Tal cómo se menciona en la Metodología, y con el objetivo de analizar la metodología de estimación de CC para muestras imperturbadas, a continuación se presenta una comparación entre las estimaciones de CC a 1/10 y a 1/3 de succión de matriz. Para ello, se calcula el agua disponible para todos los suelos, y la macroporosidad para aquellos suelos dónde la retención de agua se mide directamente (ver Metodología).

La retención de agua a 1/10 bar no fue medida directamente para los suelos N16-1p, N16-2p y N16-3f, sino que se estima a partir de ecuaciones que presentan muy buena correlación con los valores medidos (ver Metodología).

El siguiente cuadro presenta una comparación entre el agua disponible y la macroporosidad para a 1/10 y 1/3 bar de succión de matriz, tanto para 100 cm de suelo como para los horizontes A y E.

Cuadro 14. Agua disponible y macroporosidad en 100 cm de suelo y en los horizontes A y E, considerando CC a 1/10 y a 1/3 bar, para los suelos de la CNJP, Río Negro.

Uso	Suelo	1/10 bar				1/3 bar			
		mm agua disponible		Macroporosidad %		mm agua disponible		Macroporosidad %	
		100 cm	A+E	Total	A+E	100 cm	A+E	Total	A+E
Pastoril	N16-1p	200,4	120,2			161,1	111,0		
	N16-2p	188,7	126,9			111,7	64,4		
Forestal	N16-3f ⁴	132,3	93,9			87,7	57,1		
	N16-4f	134,0	80,9	11	18	97,2	57,8	15	22
	N16-5f	127,7	48,7	19	24	97,0	36,1	23	27
Media		156,6	94,1			110,9	65,1		

⁴ Cálculo hecho para 80 cm de profundidad.

Se desprende del cuadro que en términos relativos, el agua disponible calculada a CC estimada a 1/10 bar de succión es en promedio 30% más alta que con la CC estimada a 1/3 bar.

En estos suelos de textura liviana, y por lo tanto, con una proporción alta de macroporos, es posible afirmar que la mejor estimación de CC es aquella que mejor represente esa alta macroporosidad. Por lo tanto, la CC de campo a 1/3 bar de succión se presenta como una mejor estimación para este tipo de suelos que la CC a 1/10 bar de succión (ver cuadros 9, 10 y 11).

Otro aspecto interesante de este cuadro es que el volumen de agua disponible en cada suelo no mantiene el mismo patrón de variación a 1/10 bar que a 1/3 de bar. De esta manera, disminuyen las diferencias entre los suelos de uso pastoril, tanto para 100 cm como para los horizontes A y E, y algo similar ocurre para los suelos forestales. Sin embargo, la proporción que representa el volumen de agua de los horizontes A y E de los primeros 100 cm de suelo es muy similar (ver cuadro 13).

Nuevamente se comprueba que, tanto para 1/10 bar como para 1/3 bar, los suelos pastoriles presentan mayor volumen de agua disponible que los suelos forestales.

3. Propiedades químicas.

Se presentan los datos obtenidos para las siguientes propiedades: carbono orgánico; nitrógeno total; relación carbono nitrógeno; hierro total; complejo de intercambio, que comprende: contenido en miliequivalentes cada 100 g de bases intercambiables y aluminio, capacidad de intercambio catiónico a pH 7 y a pH del suelo, aluminio intercambiable y saturación de bases, a pH 7 y pH del suelo; pH en agua y en cloruro de potasio.

Al igual que para las propiedades físicas, esta información del suelo se analiza desde el punto de vista del uso, ya sea pastoril y forestal.

Cuadro 15. Propiedades químicas de los suelos de CNJP, Río Negro.

Sitio	Hz	Espesor cm	C org	N total	C/N	Fe	Ca	Mg	K	Na	Suma	Al	CIC				Al	Saturación bases			
													pH 7	pH suelo	inter.	pH 7,0		pH suelo	pH H2O	pH KCl	
meq/100 g de suelo																					
%																					
N16-1p	A1	0-19	1,9	0,09	21	0,1	2,3	0,4	0,4	0,2	3,3	0,6	4,5	3,9	15	73	85	5,7	4,4		
	A2	19-37	1,0	0,07	14	0,2	2,2	0,9	0,2	0,1	3,5	0,4	4,8	3,9	10	73	90	5,0	4,3		
	A3	37-48	0,6	0,08	8	0,2	2,5	0,6	0,3	0,2	3,6	0,2	5,0	3,8	5	71	95	5,6	3,8		
	E	48-56	0,5			0,1	2,1	0,7	0,3	0,2	3,2	0,4	6,2	3,6	11	52	89	5,7	3,7		
	Bt1	56-66	2,5			0,4	10,7	2,4	0,4	0,3	13,8	1,5	23,2	15,3	10	60	90	4,9	3,2		
N16-2p	Bt2	66-77	1,3			0,5	8,0	3,0	0,5	0,2	11,7	0,6	17,4	12,3	5	67	95	5,1	3,6		
	Bt3	77-97	0,4			0,5	6,9	3,2	0,4	0,2	10,7	1,1	17,0	11,8	9	63	91	5,5	3,7		
	Bt4	97-140	0,3			0,3	7,3	3,3	0,3	0,6	11,5	0,9	16,1	12,4	7	71	93	5,7	3,6		
	C	240-260	0,3			0,2	6,2	2,6	0,2	0,2	9,2	0,4	12,4	9,6	4	74	96	5,9	4,0		
	A1	0-18	0,50	0,07	7	0,1	1,3	0,4	0,2	0,2	2,1	0,4	3,7	2,5	16	57	84	5,0	4,2		
N16-3f	A2	18-40	0,3	0,06	5	0,1	1,4	0,3	0,3	0,2	2,2	0,2	4,1	2,4	8	53	92	6,0	4,1		
	A3	40-53	0,1	0,06	2	0,1	1,2	0,3	0,3	0,2	1,9	0,3	3,3	2,2	14	58	86	5,4	3,0		
	E	53-71	0,1			0,1	0,9	0,3	0,1	0,2	1,5	0,3	2,1	1,8	16	72	84	5,5	3,9		
	Bt1	71-100	0,2			0,7	9,4	3,6	0,4	0,2	13,6	0,2	18,0	13,8	1	76	99	5,6	3,6		
	Man	3-0	3,9	0,24	16	0,1	7,3	1,6	0,4	0,2	9,5	0,4			4			5,2	4,3		
N16-4f	A1	0-14	0,3	0,06	5	0,1	2,2	0,6	0,1	0,2	3,1	0,2	3,5	3,3	6	89	94	5,7	4,1		
	A2	14-37	0,3	0,07	4	0,1	1,9	0,5	0,1	0,4	2,9	0,3	3,5	3,2	9	82	91	5,5	3,8		
	E	37-52	0,2	0,04	5	0,2	7,3	1,6	0,4	0,2	9,5	0,2	10,1	9,7	2	94	98	5,2	3,7		
	Bt1	52-63								n/d											
	Bt2	63-80	0,3			0,3	10,1	3,0	0,6	0,4	14,2	0,4	17,0	14,6	3	84	97	5,4	3,6		
N16-5f	A1	0-15	0,5	0,07	7	0,1	1,4	0,4	0,3	0,1	2,2	0,4	3,7	2,6	16	58	84	5,4	3,7		
	A2	15-30	0,3	0,05	6	0,2	1,8	0,3	0,4	0,1	2,6	0,3	3,7	2,9	10	70	90	5,4	3,8		
	E	30-50	0,1	0,03	3	0,1	1,2	0,3	0,0	0,2	1,7	0,5	1,9	2,2	23	91	77	5,3	3,8		
	Bt1	50-60	0,7			0,6	9,8	3,2	0,8	0,4	14,1	0,8	17,8	14,9	5	79	95	5,7	3,6		
	Bt2	60-90	0,1			0,4	9,5	3,4	0,3	0,7	13,9	0,4	13,9	14,3	3	100	97	6,2	4,6		
N16-5f	Bt3	90-120	0,1			0,4	8,6	3,1	0,3	0,8	12,8	0,3	14,7	13,1	2	87	98	6,8	4,5		
	Man	5-0	3,8			0,1	18,8	4,6	0,7	0,3	24,3							5,5	4,6		
	A1	0-12	0,8	0,06	13	0,2	6,6	2,2	0,4	0,2	9,5	1,1	10,1	10,6	10	94	90	4,9	3,4		
	A2	12-27	0,7	0,07	10	0,2	1,4	0,8	0,3	0,3	2,8	1,4	5,4	4,2	34	51	66	4,5	3,3		
	A3	27-38	0,7	0,07	10	0,3	3,7	1,0	0,8	0,2	5,7	1,2	7,4	6,9	17	77	83	4,9	3,4		
N16-5f	Bt1	38-54	0,2			0,3	8,1	3,0	0,5	0,6	12,2	0,5	13,6	12,7	4	90	96	5,4	3,8		
	Bt2	54-78	0,0			0,5	11,6	2,7	0,4	0,3	15,0	1,8	19,4	16,8	11	77	89	5,0	3,5		
	Bt3/BtC	78-102	0,2			0,3	10,4	2,3	0,3	0,3	13,3	0,9	15,7	14,2	6	85	94	5,0	3,6		

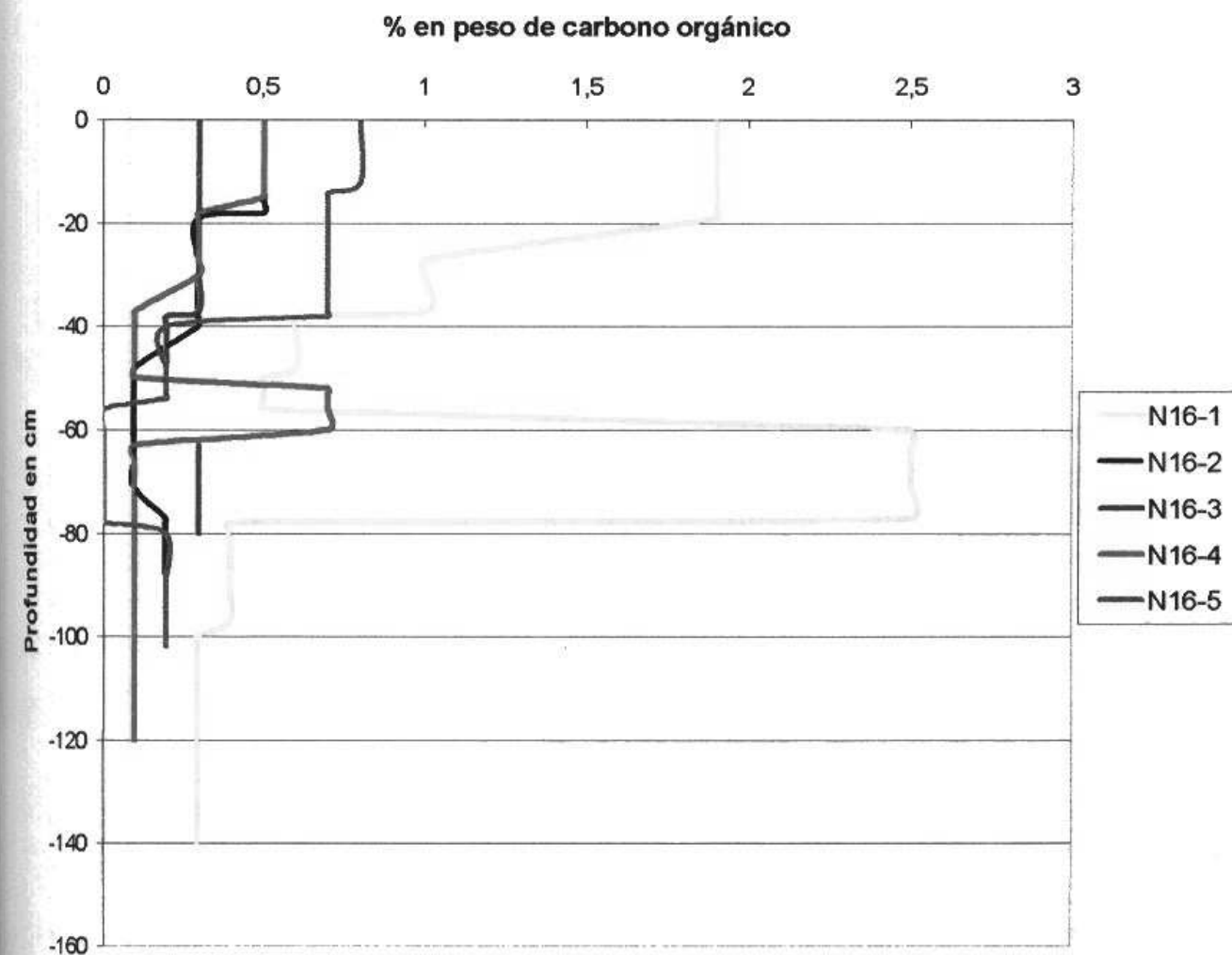
a. **Carbono orgánico.**

Los suelos estudiados en CNJP se caracterizan por su bajo contenido de carbono orgánico en todo el perfil, ya que con excepción de N16-1p, los otros suelos nunca superan el 1% de carbono orgánico en peso por horizonte. El contenido medio de carbono orgánico, sin considerar el mantillo de los suelos forestales, es $0,5 \pm 0,7\%$ (90% de confianza) (ver cuadro 15).

Todos los suelos, excepto el N16-5f, tienen una distribución característica de la materia orgánica, con dos máximos, uno en el horizonte más superficial y otro en el primer sub-horizonte del B. El suelo N16-5f se clasificaría como un Argisol si el contenido de aluminio fuera más bajo, pero supera el 5% en casi la totalidad de sus sub-horizontes. Esto resulta interesante porque la materia orgánica de los Argisoles disminuye en forma gradual en función de la profundidad (Durán, 1991), y este carácter isohúmico es el que se observa en este Luvisol (ver cuadro 13 y gráfica 2).

A continuación se presenta la gráfica de la distribución de carbono orgánico en función de la profundidad.

Gráfica 5. Distribución de carbono orgánico en función de la profundidad, para los suelos de la CNJP, Río Negro.



Se desprende de la gráfica la alta relación que existe entre contenido de arcilla y de carbono orgánico, ya que es clara la presencia de un segundo máximo de materia orgánica en el primer sub-horizonte del Bt (ver gráfica 1).

Se calcula el Índice de Acumulación de carbono orgánico (USDA, 1995) para 20 y 100 cm, y los resultados se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 16. Masa de carbono orgánico por unidad de superficie y profundidad, para los suelos de la CNJP, Río Negro.

Uso	Suelo	kg-m ² - 100 cm	kg-m ² - 20 cm	%
Pastoril	N16-1p	18.6	6.1	33
	N16-2p	4.0	1.5	38
Forestal	N16-3f	3.3	0.9	27
	N16-4f	4.1	1.4	34
	N16-5f	5.5	2.0	36

Se destaca el N16-1p con una diferencia significativa en el contenido de materia orgánica. Este Luvisol Melánico cubierto por una pastura densa, de uso pastoril de baja intensidad, supera 17 kg de carbono orgánico por m²-100 cm de profundidad. Se diferencia así del N16-2p, que si bien tiene las mismas características en cuanto a uso e historia, es significativamente más pobre, con valores muy similares al resto de los suelos estudiados. Se desprende también del cuadro que el mayor contenido de carbono orgánico no está en los primeros 20 cm de suelo, sino que entre 20 y 100 cm de profundidad se encuentran las mayores reservas de carbono.

Esto último es particularmente claro en los suelos forestales N16-3f y N16-5f, donde las diferencias entre los compartimentos mantillo y horizonte superficial indican el escaso intercambio entre ambos (ver cuadro 15), máxime si se tiene en cuenta que el método de análisis del contenido de materia orgánica es Walkley y Black (ver Metodología), por lo que seguramente no esté determinado todo el carbono que tiene el mantillo, ya que el método no lo permite.

b. Nitrógeno total y relación C:N.

El contenido de nitrógeno es pobre en todos los suelos, con valores que no alcanzan en ningún caso el 0,1%, con una leve tendencia descendente a medida que aumenta la profundidad, excepto en el N16-5f (ver cuadro 15).

A continuación se presenta el contenido de nitrógeno, calculado a partir del Índice de Acumulación del USDA.

Cuadro 17. Masa de nitrógeno total por profundidad y unidad de superficie, y relación C:N para el primer sub-horizonte de los suelos de la CNJP, Río Negro.

Uso	Suelo	kg-m ² - 30 cm	C:N
Pastoril	N16-1p	0,42	21
	N16-2p	0,32	7
Forestal	N16-3f	0,32	5
	N16-4f	0,29	7
	N16-5f	0,30	13

Se observa que el suelo de cobertura de pradera, sin señales de laboreo reciente, es el que presenta mayor contenido de N, mientras que los otros tienen valores muy bajos y prácticamente iguales. En el suelo N16-3f se observa nuevamente la escasa incidencia que tiene el mantillo en el aporte de materia orgánica al resto del perfil (ver cuadro 15).

La relación C:N es muy baja en todos los suelos, con valores inferiores a 5 en algunos sub-horizontes de los perfiles N16-2p, N16-3f y N16-4f. Sin embargo, esta baja relación C:N no implica que el N sea abundante o fácilmente disponible, y más bien obedece a la pobreza de materia orgánica que tienen los suelos. Por otro lado, los suelos N16-1p y N16-5f, más ricos en carbono, son los que presentan relación C:N más alta, alcanzando condiciones de inmovilización (ver cuadro 15).

A partir de estos resultados no es posible afirmar que uno u otro uso afecten la relación C:N.

c. Óxidos de hierro.

El contenido de hierro libre, como Fe₂O₃, es bajo en estos suelos, con un mínimo de 0,1% y un máximo de 0,9%. Se observa traslocación de óxidos dentro del perfil, con valores muy similares en todos los suelos, con un valor promedio de $0,2 \pm 0,1\%$ (90% de confianza) en el horizonte A y de $0,6 \pm 0,2\%$ (90% de confianza) en el horizonte B (ver cuadro 9 y 15).

Si bien la mayor concentración de hierro aparece en el horizonte B, el contenido de este elemento no es homogéneo en todo el espesor del horizonte, sino que generalmente los valores máximos se encuentran en el Bt2.

La asociación entre hierro:arcilla es evidente al calcular el coeficiente de correlación entre el contenido de óxidos de hierro y de arcilla, tal como se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 18. Coeficiente de determinación entre contenido de arcilla y de óxidos de hierro, para los suelos de la CNJP, Río Negro.

Uso	Suelo	r
Pastoril	N16-1p	0,89
	N16-2p	0,99
Forestal	N16-3f	0,97
	N16-4f	0,98
	N16-5f	0,71

Se observa que si bien los valores de coeficiente de determinación son muy altos en todos los suelos, para el caso del N16-1p y N16-5f hay otros fenómenos además del contenido de arcilla que explican la distribución del hierro en el perfil. También se desprende de los datos que los suelos más pobres son los que tienen mayor R entre arcilla:hierro.

La cobertura del suelo no parece influir en los contenidos de hierro libre, ya que como cita la bibliografía esto se debe fundamentalmente al material parental y a los procesos de formación de suelo.

d. Complejo de intercambio.

Dada la textura liviana y el bajo contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es baja en todos los suelos estudiados. Existe una diferencia abrupta en cuanto a la CIC entre el horizonte superficial y el argilúvico, ya que este último es siempre más rico en arcilla y en materia orgánica (ver cuadros 9, 15 y Anexo).

En el siguiente cuadro se presenta la CIC promedio por horizonte y por uso del suelo, junto con la variación típica de esta propiedad.

Cuadro 19. CIC promedio (90% de confianza) por horizonte y uso del suelo, CNJP, Río Negro.

Hz	Pastoril		Forestal	
	pH 7	pH suelo	pH 7	pH suelo
A	4,2 ± 1,0	3,1 ± 1,2	5,3 ± 3,7	4,8 ± 4,2
B	18,3 ± 4,3	13,1 ± 2,2	16,0 ± 3,1	14,4 ± 1,9

Las magnitudes son claramente diferentes entre horizontes, pero similares en cuanto a uso. Por lo tanto, no se puede afirmar que en los suelos estudiados la CIC presente diferencias atribuibles al uso (ver cuadros 9, 15 y 17).

El siguiente cuadro presenta los cálculos de coeficiente de correlación entre la CIC y las dos variables que mejor explican la capacidad de intercambio de los suelos: el contenido de arcilla y el contenido de carbono orgánico. Dado que la variación en el perfil es notoria (ver cuadro 19), se realiza el cálculo de coeficiente R para todo el perfil, y luego para los horizontes iluviales y eluviales.

Cuadro 20. Coeficiente r entre CIC y las variables independientes contenido de arcilla y contenido de carbono orgánico, consideradas en conjunto y por separado para todo el perfil, los horizontes A y E, y el horizonte B de los suelos de la CNJP, Río Negro.

Variables	Perfil	A+E	B
CIC: arcilla y c. orgánico	0,91	0,41	0,75
CIC: arcilla	0,90	0,29	0,17
CIC: C. orgánico	0,18	0,24	0,74

Los resultados son elocuentes en demostrar que para estos suelos la variación de la capacidad de intercambio está fuertemente afectada por la arcilla, mientras que la relación con el carbono orgánico es débil. Sin embargo, cuando se analiza la correlación por horizonte, se observa que en el horizonte B el contenido de carbono orgánico gana importancia frente al contenido de arcilla, ya que esta última variable se mantiene en valores relativamente constantes (ver cuadros 9 y 10). Por su lado, la pobre capacidad de intercambio de los horizontes A y E no presentan correlaciones importantes con ninguna de las variables estudiadas (ver cuadro 19).

La fertilidad de los suelos estudiados es baja. Por otro lado, la concentración relativa de cationes se ordena decrecientemente Ca, Mg, K y Na, aunque con algunas excepciones en la relación K:Na, ya que todos los suelos presentan al menos un sub-horizonte no superficial que presenta un mayor contenido de Na frente al K (ver cuadro 15).

Los contenidos de Ca y Mg son pobres y la relación Ca:Mg es baja, con una media de $3,4 \pm 1,2$ (90% de confianza), y una tendencia de esta relación a disminuir en función de la profundidad, lo que evidencia la lixiviación del perfil. El K y el Na aparecen en cantidades muy pequeñas y su contenido no presenta variaciones importantes entre los diferentes suelos (ver cuadro 15).

A continuación se presenta el contenido medio de bases intercambiables en el horizonte superficial y en el horizonte argilúvico, junto con el valor relativo de la magnitud.

Cuadro 21. Contenido medio de bases intercambiables en los horizontes A y B de los suelos de la CNJP, Río Negro.

Bases	Horizonte A		Horizonte B	
	Media		Media	
	meq/100 g	%	meq/100	%
Ca	2,3	66	9,2	71
Mg	0,7	19	3,0	23
K	0,3	9	0,4	3
Na	0,2	5	0,4	3
Bases totales	3,5		13,1	

Se desprende del cuadro que el aluminio es más abundante en valores absolutos en el horizonte argilúvico. Sin embargo, el N16-2p presenta valores similares a lo largo de todo el perfil. La lixiviación es evidente cuando se observa que el contenido de Ca y Mg del horizonte argilúvico es más del doble que en el horizonte superficial. El K y el Na presentan mantienen este comportamiento, pero las magnitudes son claramente menores (ver cuadro 15).

El cálculo del contenido de bases en tt/ha para determinada profundidad del suelo (USDA, 1995) permite comparar la fertilidad de los suelos estudiados, así como también las modificaciones que propicia la cobertura. A continuación se presentan los resultados para todos los suelos estudiados.

Cuadro 22. Masa de cationes intercambiables por profundidad y unidad de superficie de suelo, CNJP, Río Negro.

Uso	Suelo	Ca tt/ha en 100 cm de suelo	Mg	K	Na
Pastoril	N16-1p	16.0	3.4	2.4	0.7
	N16-2p	11.1	2.3	1.6	0.6
Forestal	N16-3f	11.7	1.9	1.3	0.8
	N16-4f	19.0	3.8	2.1	1.6
	N16-5f	23.9	3.9	2.6	1.1

Se observa que los suelos de pradera (N16-1p y N16-2p) presentan diferencias importantes en todos los cationes, excepto sodio. El suelo N16-2p presenta indicios de agricultura reciente que evidentemente extrajo gran parte de los nutrientes disponibles. Por lo tanto, no es un buen referente para la comparación de contenido de cationes, ya que se trata de un suelo esquilado (ver cuadros 5 y 15).

El mantillo parece tener una influencia positiva en los suelos forestales, tal como se observa en el N16-3f y N16-5f, donde el horizonte en contacto con el mantillo es significativamente más rico en bases que el horizonte inmediatamente inferior. Por otro lado, se observa que presentan magnitudes similares entre sí, aunque el suelo N16-5f se destaca como el más rico. Además, es coherente con la bibliografía que el mantillo de latifoliadas del N16-5f sea más rico en nutrientes que el de coníferas del N16-3f, cómo efectivamente ocurre (ver cuadro 15).

El contenido medio de aluminio es muy elevado, especialmente en los suelos N16-1p y N16-5f, con valores superiores a los que cita la bibliografía (ver Durán, Ruiz e Ippoliti, 1994 no publicado; Durán 1991). A diferencia de estos autores, se encontraron valores en los sub-horizontes de todos los suelos estudiados que superan los 0,4 me/100

g, y que hacen que el porcentaje de aluminio intercambiable sea muy elevado (ver Revisión Bibliográfica y cuadro 15).

Con escasas excepciones, el contenido de aluminio presenta dos máximos, uno en el primer sub-horizonte superficial y otro en el primer sub-horizonte del horizonte argilúvico, y esta es la causa que explica el elevado desvío típico de los datos al analizarlos por horizonte, ya que para el cálculo se consideran todos los sub-horizonte. Sin embargo, no existe una distribución típica del aluminio en el perfil, ya que el contenido y la distribución varían considerablemente en los cinco suelos estudiados (ver cuadro 15).

Generalmente, el horizonte argilúvico es más rico en aluminio que el horizonte superficial, con excepción del N16-2p, aunque hay que tener en cuenta que para ese suelo sólo se estudió el primer sub-horizonte del Bt (ver cuadro 15).

Es de interés conocer la relación que existe entre la proporción de aluminio intercambiable y la acidez. Dado que a pH menor a 5,5 en agua y 4,0 en KCl aumenta el contenido de aluminio intercambiable en la solución del suelo (Durán, 1999, com.per.), se construye el siguiente cuadro, dónde se presenta el promedio y el desvío del aluminio intercambiable en función del pH en KCl, para todo el perfil, y los horizontes A+E, y B.

Cuadro 23. Porcentaje de aluminio intercambiable en función del pH en KCl para tres situaciones de los suelos de la CNJP, Río Negro: todo el perfil, los horizontes A+E y B.

Reacción	Perfil		A+E		B	
	Media	S	Media	S	Media	S
pH KCl $\leq$ 4	10,2	7,4	14,0	8,3	6,2	3,1
pH KCl $>$ 4	8,7	5,5	7,0	4,3	2,5	0,4

El promedio de aluminio intercambiable es superior en todas las situaciones cuando el pH en KCl es menor o igual a 4, aunque la variabilidad de esta característica es alta. Sin embargo, se desprende del cuadro que, en cuanto a la proporción de aluminio intercambiable, los horizontes A y E son los más sensibles a las modificaciones del pH (ver cuadro 15).

La saturación en bases a pH 7 es alta en todos los suelos estudiados, y es propia de suelos Saturados Lixiviados, con magnitudes que superan el 50% de saturación aún en el horizonte albico. Sin embargo, dado el muy elevado contenido de aluminio intercambiable, que en tres los suelos estudiados (N16-1p, N16-4f y N16-5f) supera el 5% en al menos un sub-horizonte del horizonte argilúvico, de acuerdo a la clasificación

vigente se incluyen dentro de los Desaturados Lixiviados, como Luvisoles (ver cuadros 8 y 15).

Por otro lado, el valor promedio de saturación en bases a pH 7 es $74 \pm 18\%$ (90% de confianza), mientras que la saturación en bases determinado a pH del suelo es $90 \pm 9\%$ (90% de confianza). Esta diferencia se debe a la acidez titulable que existe entre el pH del suelo y el pH 7 (ver Revisión Bibliográfica).

Por otro lado, es de interés presentar la información de saturación en bases para el horizonte A y el B, para determinar como varían las posiciones de intercambio dependientes del pH de acuerdo al horizonte estudiado.

Cuadro 24. Promedio de saturación en bases (90% de confianza) determinada para cada horizonte a pH 7 y a pH del suelo, CNJP, Río Negro.

Hz	Saturación en bases %	
	pH 7	pH suelo
A	70 ± 19	87 ± 10
B	78 ± 16	94 ± 4

La amplitud de la diferencia tanto en el horizonte A como en el B indica que las posiciones de intercambio dependientes del pH se distribuyen más o menos homogéneamente en todo el perfil. Esto es interesante, ya que en otros suelos Saturados Lixiviados o en suelos Melánicos, existe una clara diferencia en la saturación en bases entre un horizonte y otro (Durán, 1999, com.per.).

d. Reacción en agua y en KCl.

La reacción de todos los suelos estudiados es ácida, tanto en agua como KCl, y se puede afirmar que existe una leve tendencia a la acidificación en la base del A o en la parte superior del B, especialmente en el pH medido en KCl. La determinación de acidez presenta escasa variación en el perfil, ya sea medida en agua o en KCl, con coeficientes de variación de 8,2% y 10,5%, respectivamente. Esta reacción ácida del suelo explica el alto contenido de aluminio intercambiable observado, ya que en aquellos sub-horizontes de reacción muy ácida en KCl, el aluminio aparece con magnitudes elevadas (ver cuadro 15 y 23).

El siguiente cuadro muestra la distribución del pH en agua en categorías y por uso del suelo de un total de 33 muestras analizadas, incluidas dos muestras de mantillo.

Cuadro 25. Distribución de acidez determinada en agua por categoría y uso del suelo, CNJP, Río Negro.

Categoría	Rango	Pastoril		Forestal	
		n	%	n	%
Muy fuertemente ácidos	4,5 – 5,0	3	21	5	26
Fuertemente ácidos	5,1 – 5,5	4	29	10	53
Medianamente ácidos	5,6 – 6,0	7	50	2	11
Otros	Mayor a 6,0			2	11
Totales		14		19	

Se desprende de los datos que los suelos forestales son más ácidos que los de pradera, ya que la proporción de sub-horizontes dentro de las categorías *muy fuertemente ácida* y *fuertemente ácida* es mayor en los suelos bajo bosque (ver cuadro 15).

B. FYMNSA, RIVERA: DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO BAJO USO PASTORIL Y FORESTAL.

1. Descripción morfológica y clasificación.

Los suelos FYM2f, FYM3p, FYM4p y FYM5f presentan una secuencia de horizontes A-B-C o bien A-E-B-C, aunque esta última distribución ocurre en un único caso, en el suelo FYM3p, y se trata de suelos muy profundos, de texturas livianas, sin transición abrupta entre el horizonte superficial y el horizonte B, que generalmente presenta indicios de pobre drenaje (ver Anexo).

El horizonte A de este grupo de suelos generalmente se divide en tres sub-horizontes, excepto en el FYM3p. Es de color pardo, con tonalidades amarillas o rojizas, más oscuro cercano a la superficie. La textura es liviana, entre arenosa franca a franco arenosa en los sub-horizontes superficiales, aumentando el contenido de arcilla en función de la profundidad. La estructura es de bloques angulares de pequeños a gruesos, que aumentan de tamaño en función de la profundidad, de consistencia débil a moderada. La exploración radicular es siempre abundante, y la transición entre horizontes es clara a gradual, pero no abrupta (ver Anexo).

Estos suelos presentan un horizonte B bien desarrollado, de coloración variable entre los suelos estudiados, ya que se encuentran colores tales como pardo amarillento, pardo rojizo, rojizo amarillento o gris rosáceo. La textura es pesada, arcillo arenosa a arcillosa liviana, con evidencias de drenaje pobre, como moteado y concreciones de hierro y manganeso. La estructura es de bloques angulares, pequeños a gruesos, y la consistencia es firme. Hay escasa exploración radicular (ver Anexo).

El horizonte C se alcanza solamente en el FYM2f y es de color pardo muy claro, con moteado común, textura arcillo arenosa, evidencias de pobre drenaje y escasa exploración radicular (ver Anexo).

El suelo FYM1f es diferente a los cuatro suelos descriptos anteriormente. Presenta un horizonte A de características similares a las de los otros suelos, pero entre los 50 y 70 cm de profundidad aparece una línea de fragmentos de arenisca, bajo la cual se observa otro horizonte pardo, de textura liviana, sin estructura y escasa exploración radicular, identificable como C. La ausencia de un horizonte B diferencia a este suelo del resto de los observados, y junto con otras características tales como, inducen a clasificarlo como un Inceptisol (ver Anexo).

A continuación se presenta un cuadro con la clasificación de los suelos estudiados, junto con el uso y algunas observaciones sobre la cobertura.

Cuadro 26. Clasificación y uso de los suelos estudiados en FYMNSA, Rivera.

Suelo	Clasificación	Uso	Observaciones
FYM1f	Inceptisol	Forestal	Primer rotación de un rodal <i>Pinus taeda</i> , plantado en 1978.
FYM2f	Acrisol Ócrico Típico	Forestal	Primer rotación de un rodal <i>Pinus taeda</i> , plantado en 1976.
FYM3p	Acrisol Úmblico Albico	Pastoril	Pradera con pastoreo de baja intensidad.
FYM4p	Acrisol Ócrico Típico	Pastoril	Pradera con pastoreo de baja intensidad, con una cortina de eucaliptos a 10 m.
FYM5f	Acrisol Ócrico Típico	Forestal	Primer rotación de un rodal <i>Pinus taeda</i> , plantado en 1976.

2. Propiedades físicas.

En el siguiente cuadro se presenta la composición granulométrica, la densidad aparente, la porosidad y el porcentaje en peso de agua retenida a diferentes presiones de succión.

A continuación se comentan estos resultados.

Cuadro 27. Propiedades físicas de los suelos de FYMNSA, Rivera ⁵.

Suelos	Hz	Espesor cm	Análisis mecánico					Retención de agua				
			Arena	Limo %	Arcilla	D. ap. g cc ⁻¹	Porosidad %	Succión en bar				
								1/10	1/3	1	3	15
FYM1f	A1	0-20	92,9	3,1	4,0	1,59	40	7,6	6,6	4,9	3,5	0,8
	A2	20-41	91,9	3,0	5,1	1,51	43	11,5	11,0	7,8	5,3	1,2
	A3	41-50	90,4	7,4	2,2	1,55	41	6,5	5,5	6,4	6,2	0,4
	2C	50-70	Discontinuidad litológica									
	3A'	70-125	94,4	3,9	1,7	1,56	41	21,8	20,2	21,3	24,7	9,8
	3C	125+	87,6	5,9	6,5	1,68	37			n/d		
FYM2f	A1	0-19	81,5	6,8	11,7	1,42	47	17,8	16,3	14,7	9,9	3,2
	A2	19-33	71,0	17,9	11,1	1,43	46	15,1	14,8	12,3	12,3	4,7
	A3	33-47	71,3	15,6	13,1	1,51	43	19,5	19,2	17,9	17,0	5,4
	B1	47-63	44,8	17,8	37,5	1,45	45	26,8	25,4	24,3	17,8	15,4
	B2	63-83	52,5	16,7	30,8	1,53	42	17,9	15,9	14,6	11,8	12,6
	B3	83-98	60,5	13,0	26,5	n/d			17,8			10,6
	C	98+	64,2	29,2	6,6	n/d			11,5			3,6
FYM3p	A1	0-25	82,9	6,5	10,6	1,48	44		6,7			3,7
	A2	25-46	81,6	5,5	12,9	1,46	45		8,0			4,5
	E	46-73	79,9	4,8	15,3	1,51	43		9,2			5,4
	B1	73-93	65,6	8,3	26,1	1,48	44		16,3			10,0
	B2	93-108	55,0	19,3	25,7	1,37	48		19,4			10,6
	B3	108+	57,0	19,1	23,9	1,55	42		18,3			9,9
FYM4p	A1	0-15	89,2	3,7	7,1	1,62	39		4,2			2,0
	A2	15-40	82,2	6,1	11,6	1,87	29		7,3			4,0
	A3	40-68	78,7	4,9	16,4	1,76	33		9,6			5,9
	B1	68-87	63,8	10,2	25,9	1,33	50		16,7			10,0
	B2	87-114	48,2	13,2	38,6	1,23	49		24,6			15,6
	B3	114+	61,0	5,6	33,4	1,35	49		19,7			12,8
FYM5f	A1	0-10	85,7	6,2	8,1	1,63	39	9,4	6,8	6,5	4,5	3,6
	A2	10-39	78,7	7,1	14,2	1,56	41	9,8	7,8	5,4	3,2	5,2
	A3	39-61	69,8	5,6	24,6	1,36	49	14,9	11,5	12,3	7,8	9,3
	B1	61-82	62,1	12,1	25,8	1,26	53		17,2			10,2
	B2	82-110	44,0	17,7	38,3	1,30	51	27,8	24,1	21,8	16,7	15,8
	B3	110+	55,7	9,1	35,3	1,50	44	23,3	19,6	18,0	13,5	13,8

⁵ Los valores de retención de agua en cursiva se obtienen a partir de las fórmulas presentadas en la Metodología.

a. Composición granulométrica.

Los suelos estudiados son de textura liviana, y, con la excepción del FYM1f, homogéneos en cuanto a la composición y distribución de partículas. El suelo FYM1f es el único donde aparece una fracción granulométrica mayor a la arena. Esta última es la fracción dominante en todos los horizontes, con participación es preponderante en el horizonte superficial, donde en algunos casos alcanza valores de 92,9%, siendo la magnitud mínima 69,8%. La arcilla es escasa cercana a la superficie, generalmente menor a 15%, para ir aumentando gradualmente a mayor profundidad, alcanzando las máximas magnitudes, superiores a 35%, en el horizonte B%. El contenido de limo es muy inferior al de arena y generalmente inferior al de arcilla, y se observa una tendencia a aumentar su contenido en función de la profundidad (ver Cuadro 27 y Anexo).

En el siguiente cuadro se presenta la composición granulométrica media y el desvío estándar en porcentaje y por horizonte.

Cuadro 28. Promedio y desvío típico de los datos de tamaño de partículas en porcentaje por horizonte, para los suelos de FYMNSA, Rivera.

Hz	Arena		Limo		Arcilla	
	Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío
A	82,6	7,2	7,4	4,6	9,9	4,5
B	55,9	7,3	13,5	4,6	30,6	5,7

Se desprende del cuadro la importancia de la arena en la textura de estos suelos, y la escasa variación que existe entre suelos, especialmente en el horizonte superficial. El contenido de limo aumenta junto con la profundidad, aunque se mantiene bajo. Como es de esperar en suelos lixiviados, la arcilla es escasa en los sub-horizontes cercanos a la superficie, y generalmente las magnitudes máximas se alcanzan superados los 60 cm de profundidad (ver cuadro 23 y Anexo).

En el siguiente cuadro se presenta para cada suelo los datos de contenido medio de cada tamaño de partícula, considerando en el cálculo la profundidad de cada sub-horizonte. Asimismo, como un buen indicador de la lixiviación del perfil, se expone el cociente entre el contenido de arcilla del horizonte A y el B, excepto para el FYM1f, que carece de horizonte B (ver cuadros 27, 28 y Anexo).

Cuadro 29. Proporción media ponderada de cada tamaño de partícula y cociente entre el contenido de arcilla de los horizontes A y B de los suelos de FYMNSA, Rivera.

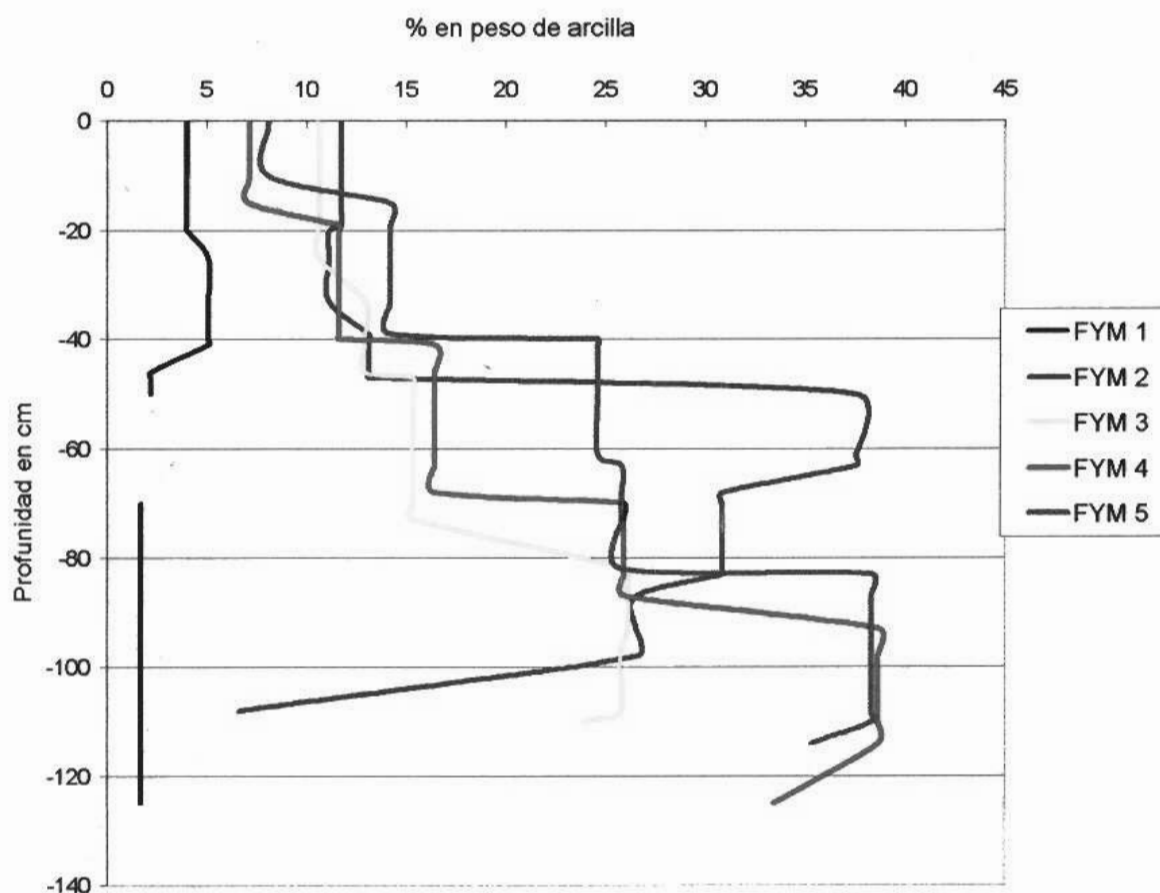
Uso	Suelo	Arena	Limo %	Arcilla	B/A
Pastoril	FYM3p	71.0	10.4	18.6	2.2
	FYM4p	69.0	7.4	23.6	2.7
Forestal	FYM1f	92.0	4.0	3.7	
	FYM2f	63.6	17.9	18.5	2.7
	FYM5f	63.4	10.1	26.5	2.0

En todos los suelos, el tamaño de partículas ocurre en el siguiente orden decreciente: arena, arcilla y limo. Con excepción del FYM1f, que se comenta más adelante, los suelos estudiados tienen contenidos medios de arena, limo y arcilla similares: la arena se encuentra entre 63 y 71%, el limo entre 7 y 18% y la arcilla entre 18 y 26 % (ver cuadros 27 y 28).

El cociente arcilla B:arcilla A muestra que la lixiviación existe, ya que el contenido de arcilla del horizonte textural duplica y a veces casi triplica la arcilla del A, como se observa claramente en el máximo de arcilla que aparece en la porción superior del B. Sin embargo, los valores obtenidos no indican una diferenciación textural tan clara como la que ocurre en los suelos de Algorta (ver cuadros 9, 10, 11, 26 y 28).

Es interesante observar la distribución de arcilla en función de la profundidad que se presenta en la siguiente gráfica.

Gráfica 6. Contenido de arcilla en función de la profundidad para los suelos de FYMNSA, Rivera.



La gráfica es elocuente en dos aspectos: señala el máximo de arcilla que aparece aproximadamente a los 60 cm de profundidad y destaca las diferencias texturales que presenta el suelo FYM1f.

En este Inceptisol, con una discontinuidad litológica a los 50 cm de profundidad, la arena alcanza valores superiores al 90%, mientras que el limo y la arcilla se reducen a proporciones mínimas, del orden del 4% (ver cuadros 27 y 29).

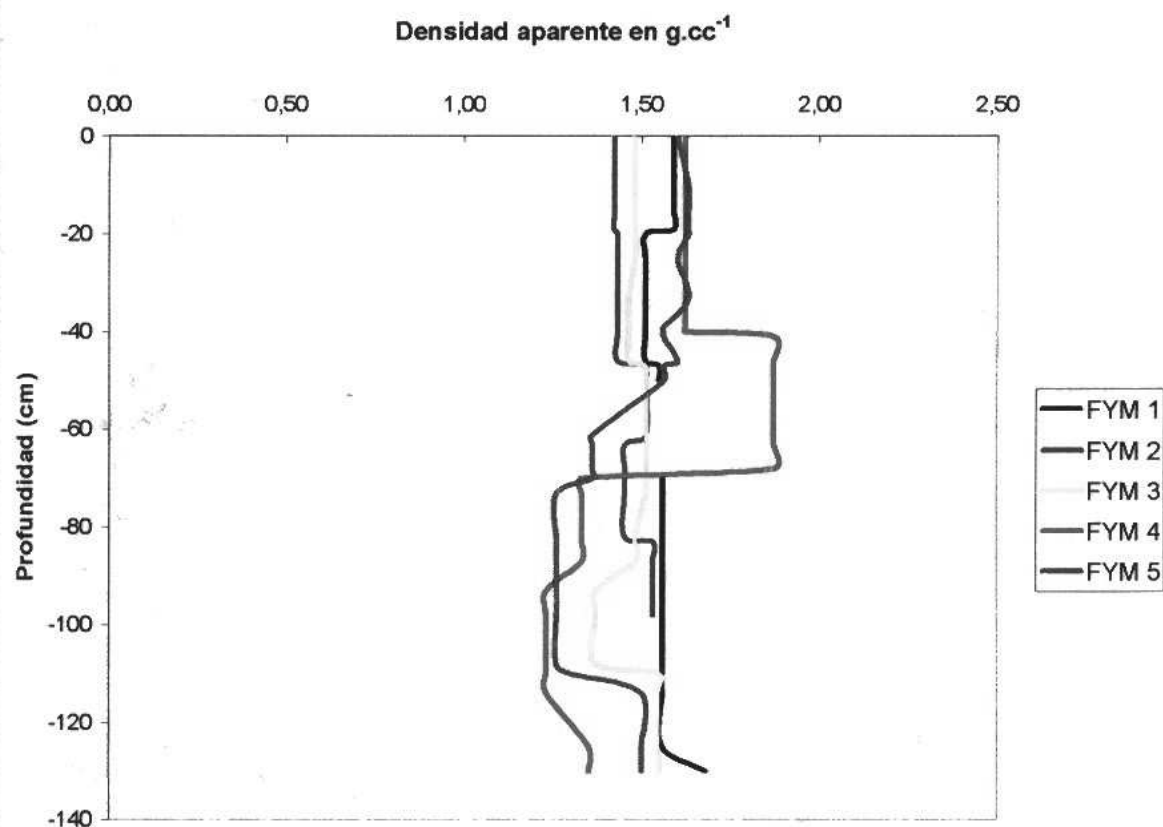
No se encuentra ninguna diferencia en la textura que se pueda explicar por el uso del suelo, y en todos los casos es material madre parece ser el factor determinante de las características observadas (ver cuadros 26 y 28).

b. Densidad aparente y porosidad.

Siguiendo el esquema planteado para los suelos de Algorta, se analizan estas propiedades en conjunto.

La densidad aparente es homogénea en todos los suelos estudiados, y aunque varía entre extremos de 1,23 y 1,87 g.cc⁻¹, la gran mayoría de los datos se encuentran en el entorno de 1.50 g.cc⁻¹ (ver cuadro 27). Generalmente se observa un aumento de esta propiedad en la base del horizonte superficial, una disminución en la primera porción del B, para luego aumentar en función de la profundidad. Este comportamiento ondulante se observa claramente en la gráfica que se presenta a continuación.

Gráfica 7. Densidad aparente en función de la profundidad, para suelos de FYMNSA, Rivera.



En cuanto a la porosidad, ésta se encuentra entre 29 y 53%, aunque estos valores extremos no reflejan la escasa variabilidad de esta propiedad, que se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 30. Porosidad en porcentaje por horizonte para uso pastoril y forestal, para suelos de FYMNSA, Rivera.

Hz	Pradera		Bosque	
	Media	Desvío	Media	Desvío
A	45	2	40	6
B	44	3	50	4

Se destaca la escasa variación que presenta esta propiedad, con la excepción de la porosidad en el horizonte A bajo bosque, que sin embargo dista de ser alta. Los valores no son concluyentes, pero presentan al menos una diferencia con los suelos de

Algorta: la porosidad es más alta, especialmente en el horizonte argilúvico (ver cuadro 12 y gráfica 2).

En cuanto al uso del suelo, esta propiedad no parece verse afectada por la cobertura; en los suelos bajo bosque el horizonte A es ligeramente menos poroso que en los suelos de pradera, mientras que la relación se invierte en el horizonte.

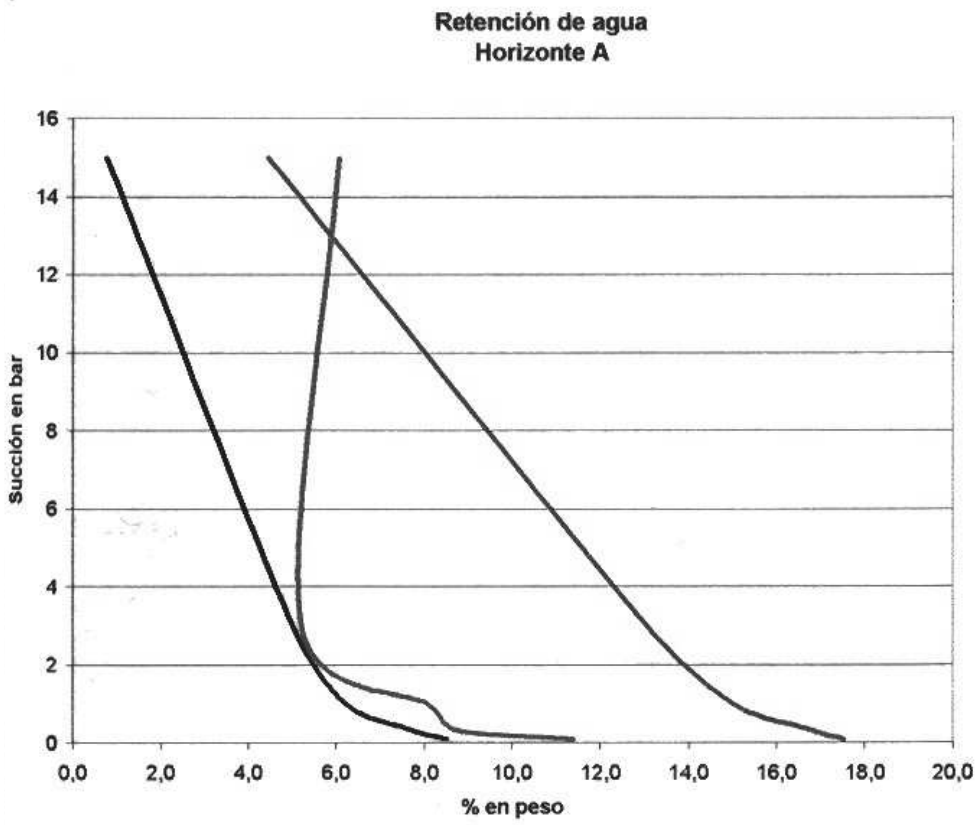
c. Retención de agua.

Al igual que ocurre en los suelos de Algorta, la textura liviana de estos suelos de Rivera hace que prevalezca la macroporosidad sobre la microporosidad, lo que da como resultado una baja capacidad de retener agua. Por lo tanto, el horizonte B, más arcilloso, retiene más agua que el horizonte superficial a todas las tensiones, aunque la diferencia es aún más notoria a tensiones altas (ver cuadros 28 y 29). La excepción es la tensión a 15 bar de succión de matriz, a la cual se obtienen valores similares de retención de agua para ambos horizontes.

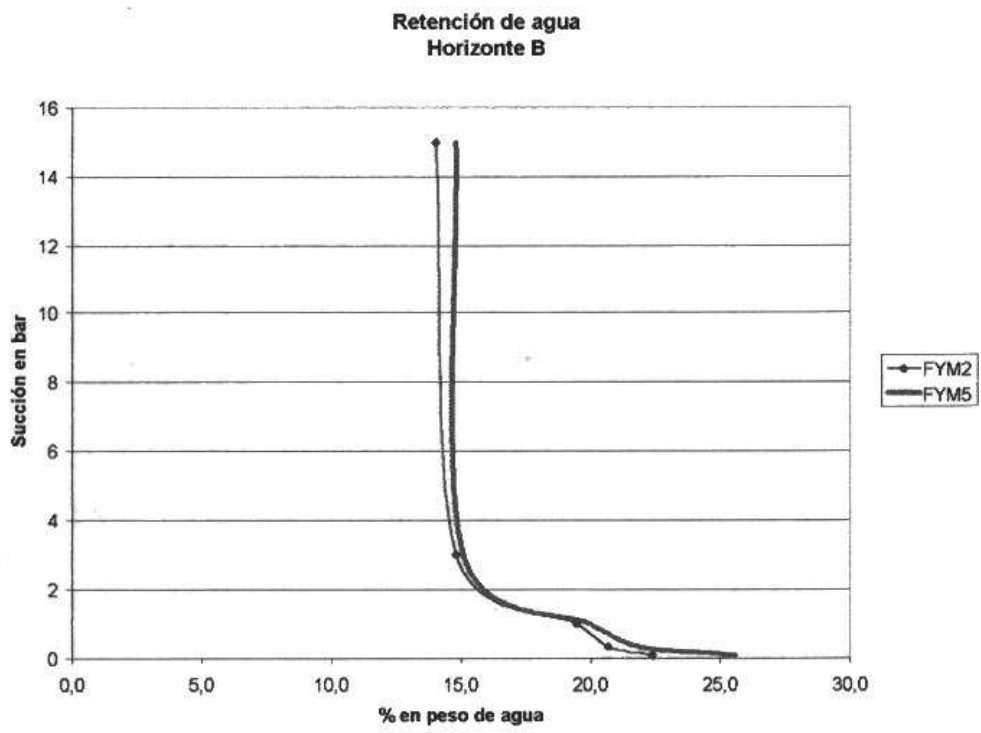
Sólo se estudiaron los suelos forestales, por lo que para el caso de Rivera no es posible hacer comparaciones de la retención de agua para suelos de uso pastoril.

En las gráficas 8 y 9 se presenta la retención de agua a diferentes tensiones para los horizontes A y E, y para el horizonte B, respectivamente. Los horizontes A y E se presentan en conjunto ya que comprenden la porción de suelo con mayor exploración radicular, mientras que el horizonte B es dónde se concentra la mayor reserva de agua del suelo.

Gráfica 8. Promedio de retención de agua en porcentaje en peso para los horizontes A+E, para suelos de FYMNSA, Rivera.



Gráfica 9. Promedio de retención de agua en porcentaje en peso para el horizonte B, para suelos de FYMNSA, Rivera.



Al comparar ambas gráficas se desprende que el horizonte B es capaz de retener una cantidad significativamente superior de agua que el horizonte A.

En cuanto a la retención de agua para el horizonte A, a diferencia de los suelos de Algorta, existe una amplitud importante entre los valores de agua gravimétrica. El suelo FYM2f es el que retiene más cantidad de agua que los suelos FYM1f y FYM5f, aún a tensiones elevadas. Esta diferencia tan notoria es difícil de explicar, ya que el FYM2f presenta en el horizonte A contenidos de arcilla inferiores a los del FYM5f. Por otro lado, el FYM5f es sólo ligeramente superior al FYM1f, cuando éste último es el suelo más pobre en arcilla de todos los estudiados en Rivera (ver cuadros 27 y 29).

El promedio de retención de agua del horizonte B está representado gráficamente para dos suelos, el FYM2f y el FYM5f, ya que el FYM1f carece de horizonte iluvial. Se observa como ambos son muy similares en su capacidad de retener agua. En efecto, a 1 bar de tensión los suelos son todavía capaces de retener un contenido importante de agua, aunque superado ese límite, la capacidad de retención disminuye rápidamente (ver gráfica 9 y cuadro 27).

Por otro lado, es interesante conocer el volumen de agua disponible a 100 cm de profundidad y la que se encuentra disponible en la zona del suelo de mayor exploración, el horizonte A. Esta información se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 31. Contenido de agua a capacidad de campo (CC) a 1/3 bar, punto de marchitez permanente (PMP) 15 bar, y agua disponible, para 100 cm de suelo y para el horizonte A, para los suelos de FYMNSA, Rivera.

Uso	Suelo	CC	PMP	Disponible	CC	PMP	Disponible
		mm. 100 cm			A+E		
Pastoril	FYM3p	153,5	89,4	64,1	86,6	49,6	37,1
	FYM4p	173,1	103,0	70,0	91,5	52,8	38,8
Forestal	FYM1f	175,6	60,6	115,0	65,1	6,9	58,1
	FYM2f	221,8	103,7	118,1	114,3	29,5	84,8
	FYM5f	206,4	137,7	68,7	80,8	57,3	23,5

Para interpretar esta información es importante recordar algunos aspectos de la estimación: los valores de los suelos FYM3p y FYM4p están calculados a partir de ecuaciones y no medidos directamente; para el suelo FYM1f se considera horizonte A toda la porción de suelo que está por encima de la discontinuidad litológica; el único de los suelos estudiados en Rivera que presenta horizonte E es el FYM3p (ver Metodología y Anexo).

Hecha la aclaración anterior, se puede afirmar que los suelos forestales, con excepción del FYM5f, presentan mayor volumen de agua disponible, tanto en los primeros 100 cm de suelo como en la zona de mayor exploración radicular, los horizontes A y E. El suelo FYM5f se caracteriza por el significativo volumen de agua que retiene aún a PMP. Asimismo, se observa la muy escasa capacidad de retener agua a PMP del suelo FYM1f (ver cuadro 27).

Al comparar los resultados con los obtenidos para los suelos de Algorta, se observa que los suelos riverenses tienen menor volumen de agua disponible que los suelos de Algorta, tanto en la porción de suelo comprendida en los horizontes A y E, como en los primeros 100 cm de suelo (ver cuadros 9, 15 y 31).

Tal como se hizo para los suelos de Algorta, se estudia la relación que existe entre las estimaciones de CC a 1/3 bar y a 1/10, comparando las estimaciones de agua disponible y de macroporosidad. En este análisis se consideran únicamente los suelos para los que la CC está medida directamente, y no estimada a partir de ecuaciones, a excepción del horizonte B1 del suelo FYM5f (ver Metodología).

Los resultados se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 32. Agua disponible y macroporosidad, en 100 cm de suelo y en los horizontes A y E, considerando CC a 1/10 y a 1/3 bar de succión de matriz, para los suelos de FYMNSA, Rivera.

Uso	Suelo	1/10 bar				1/3 bar			
		agua disponible		Macroporosidad		agua disponible		Macroporosidad	
		mm		%		mm		%	
		100 cm	A+E	Total	A+E	100 cm	A+E	Total	A+E
Forestal	FYM1f	129,8	64,3	23	28	115,0	58,1	24	29
	FYM2f	132,8	90,1	16	20	118,1	84,8	18	21
	FYM5f	116,3	47,1	21	26	68,7	23,5	26	30
Media		126,3	67,2			100,6	55,5		

A partir del cuadro se observa que, para ambas metodologías de estimación de la CC, la diferencia en términos relativos de agua disponible es del orden de 20%, 10% menos que para los suelos de la CNJP. A su vez, la macroporosidad es mayor cuando se estima la CC a 1/3 bar de succión de matriz (ver cuadro 14).

Por lo tanto, es posible afirmar que para estos Acrisoles de Rivera, la CC estimada a 1/3 bar de succión describe más acertadamente la macroporosidad, aunque es interesante destacar que las diferencias entre los valores de macroporosidad obtenidos para ambas estimaciones de CC presentan diferencias de escasa magnitud, tanto en la totalidad de perfil como en los horizontes A y E (ver cuadro 32).

Si bien la diferencia entre los valores absolutos de agua disponible para los compartimentos estudiados (100 cm y A+E) es notoria, el peso relativo de cada uno es similar.

3. Propiedades químicas.

A continuación se presentan y discuten, tanto desde el punto de vista de la caracterización edafológica como del uso, las siguientes propiedades: carbono orgánico; nitrógeno total; relación carbono: nitrógeno; hierro total; complejo de intercambio, compuesto por contenido de bases, capacidad de intercambio catiónico a pH 7 y a pH del suelo, aluminio intercambiable, y saturación en bases, también a pH 7 y pH del suelo; determinación de pH en agua y en KCl.

Cuadro 33. Propiedades químicas de los suelos de FYMNSA, Rivera.

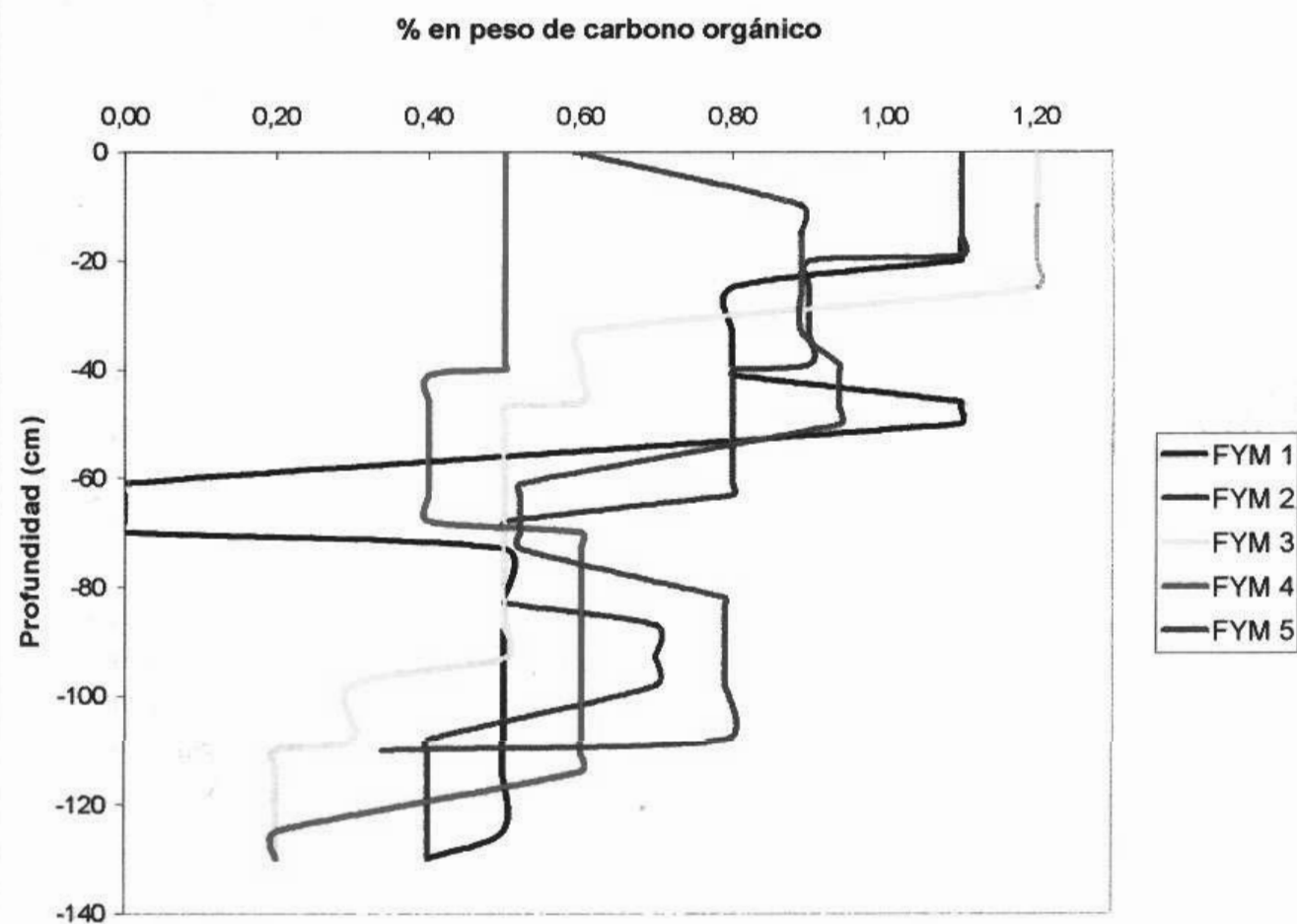
Suelo	H _z	Espeor	C org	N total	C/N	Fe	Ca	Mg	K	Na	Suma	Al	CIC	Saturación bases	Al int.	pH H ₂ O	pH KCl
			cm	%		%			meq/100 g de suelo				meq/100 g	pH 7	pH 7	%	
Discontinuidad litológica																	
FYM1f	A1	0-20	1,1	0,04	28	0,08	0,8	0,2	0,1	0,2	1,3	0,5	1,8	1,8	72	28	4,8
	A2	20-41	0,8	0,03	27	0,12	0,8	0,2	0,1	0,2	1,3	0,5	2,1	1,8	61	28	5,1
	A3	41-50	1,1	0,03	37	0,17	0,9	0,2	0,1	0,2	1,4	0,6	2,9	2,0	47	30	5,1
	2C	50-40															4,0
	3A'	70-125	0,5			0,08	0,9	0,2	0,1	0,2	1,3	1,7	3,3	3,0	39	43	5,0
	3C	125+	0,4			0,18	1,7	1,5	0,1	0,2	3,6	3,8	6,5	7,4	55	48	4,8
FYM2f	Man.	5-0	6,7	0,26	26	0,15	5,3	1,9	0,5	0,2	7,8	1,6	4,9	3,8	45	58	4,9
	A1	0-19	1,1	0,06	18	0,20	1,2	0,6	0,2	0,2	2,2	1,6	4,9	3,8	45	42	4,2
	A2	19-33	0,9	0,06	15	0,30	0,7	0,5	0,2	0,2	1,6	2,3	9,6	3,9	16	40	4,4
	A3	33-47	0,8	0,08	10	0,41	0,6	0,4	0,3	0,2	1,6	2,8	8,0	4,4	20	36	4,6
	B1	47-63	0,8	0,08	10	0,92	1,6	1,0	0,6	0,2	3,4	5,8	19,4	9,2	18	37	4,7
	B2	63-83	0,5	0,05	10	0,73	1,4	1,0	0,4	0,3	3,2	6,7	16,0	9,9	20	32	4,7
	B3	83-98	0,7			0,38	1,1	1,0	0,4	0,2	2,7	6,6	12,7	9,3	21	29	4,6
	C	98+	0,4			0,38	1,4	1,3	0,4	0,2	3,4	5,0	13,2	8,4	25	40	4,5
FYM3p	A1	0-25	1,2	0,10	12	0,32	0,8	0,5	0,5	0,3	2,0	0,9	4,9	2,9	41	69	4,2
	A2	25-46	0,6	0,06	10	0,30	0,8	0,5	0,4	0,3	1,9	1,1	4,9	3,0	39	63	4,8
	E	46-73	0,5	0,05	10	0,44	1,0	0,5	0,3	0,2	2,0	1,3	5,4	3,3	38	61	5,4
	B1	73-93	0,4	0,08	5	0,69	1,1	1,0	0,4	0,2	2,7	2,6	9,6	5,3	28	51	4,7
	B2	93-108	0,3			1,01	1,0	0,8	0,4	0,3	2,4	3,4	13,2	5,8	18	41	5,0
	B3	108+	0,2			0,76	2,0	2,2	0,5	0,3	5,0	5,5	14,2	10,5	35	47	4,9
FYM4p	A1	0-15	0,5	0,11	5	0,38	1,3	0,2	0,3	0,3	2,1	0,2	n/d	3,2	n/d	6	5,5
	A2	15-40	0,5	0,05	10	0,64	1,2	0,5	0,2	0,2	2,2	0,5	3,1	2,7	70	81	5,1
	A3	40-68	0,4	0,05	8	0,88	0,3	0,4	0,2	0,2	1,1	1,4	3,6	2,5	30	44	4,8
	B1	68-87	0,6	0,06	10	1,46	0,9	0,8	0,2	0,2	2,2	1,9	8,8	4,1	25	54	4,8
	B2	87-114	0,6			2,31	1,9	1,7	0,1	0,2	3,9	2,4	14,5	6,3	27	62	4,7
	B3	114+	0,2			1,80	1,2	1,3	0,1	0,2	2,7	1,9	10,3	4,6	26	59	5,1
FYM5f	A1	0-10	0,6	0,05	12	0,30	0,5	0,2	0,2	0,2	1,1	1,1	2,6	2,2	42	50	4,5
	A2	10-39	0,9	0,03	30	0,99	0,2	0,2	0,1	0,2	0,7	1,0	3,6	1,7	19	40	4,5
	A3	39-61	0,9	0,05	19	1,45	0,9	0,5	0,1	0,2	1,6	2,9	5,7	4,5	29	36	4,6
	B1	61-82	0,5	0,06	9	0,57	1,2	0,6	0,1	0,2	2,1	2,1	8,3	4,2	26	50	4,7
	B2	82-110	0,8			2,38	1,2	0,9	0,2	0,2	2,5	3,2	12,9	5,7	19	44	4,8
	B3	110+	0,3			2,13	0,8	0,8	0,1	0,2	2,0	2,6	9,3	4,6	22	44	4,8

a. Carbono orgánico.

El contenido de carbono orgánico de estos suelos es muy bajo y homogéneo en todos los suelos, lo que es previsible, ya que se trata de cuatro Acrisoles y un Inceptisol, todos de textura liviana y con claros indicios de lixiviación. Los valores varían entre 1.2 y 0.2%, con una media de $0.64 \pm 0.36\%$ (90% de confianza).

Todos los suelos estudiados, excepto el FYM3p, presentan un segundo máximo entre los 70 y 90 cm de profundidad. Este comportamiento se observa en la siguiente gráfica.

Gráfica 10. Distribución de carbono orgánico en función de la profundidad, FYMNSA, Rivera.



La distribución de la materia orgánica en estos suelos se explica por la traslocación que sufre junto con la arcilla, que, como se menciona anteriormente, se transporta mecánicamente en función de la profundidad. Por lo tanto, el segundo máximo de materia orgánica generalmente coincide con el horizonte B, más rico en

transporta mecánicamente en función de la profundidad. Por lo tanto, el segundo arcilla.

Con el objetivo de comparar el contenido y la distribución de carbono orgánico entre los cinco suelos estudiados, se calcula el Índice de Acumulación de carbono orgánico (USDA, 1995) (ver Metodología). Los resultados se presentan a continuación.

Cuadro 34. Masa de carbono orgánico por profundidad y unidad de superficie, para los suelos de FYMNSA, Rivera.

Uso	Suelo	kg-m ² - 100 cm	kg-m ² - 20 cm	% del total
Pastoril	FYM3p	9,8	3,6	36
	FYM4p	8,0	1,7	21
Forestal	FYM1f	9,9	3,5	35
	FYM2f	11,6	3,1	27
	FYM5f	11,0	2,2	20

El primer punto a destacar de esta información es que si bien los valores son bajos, son en general más altos que los obtenidos para los suelos de Algorta, especialmente cuando se considera un metro de profundidad, exceptuando al perfil N16-1p (ver cuadro 16).

Otro aspecto interesante es que la gran mayor parte del carbono orgánico se encuentra a más de 20 cm de profundidad, ya que la primera porción calculada es muy inferior al total del perfil (ver cuadro 34).

Por último, se destaca la diferencia que existe en el contenido de carbono orgánico de acuerdo al uso del suelo: los suelos forestales son claramente más ricos que los pastoriles. En el compartimento comprendido en los primeros 20 cm de suelo no existen variaciones importantes entre uno y otro uso de suelo, pero si se consideran 100 cm de suelo, los suelos forestales revelan un contenido de carbono mayor que en los suelos bajo pradera (ver cuadro 34).

Una vez más se observa el escaso intercambio que existe entre el mantillo y el suelo directamente en contacto con los residuos forestales. El suelo FYM2f cuenta con un mantillo muy rico en carbono, que sin embargo no se refleja en los resultados obtenidos en el compartimento de 20 cm. Asumiendo que los residuos de los suelos FYM1f y FYM3p son igualmente ricos en carbono que el mantillo analizado para el FYM2f, y considerando que el método de análisis no es el conveniente para este tipo de materia, se observa que la integración del carbono orgánico de los residuos forestales

con el suelo existe en una escala muy menor, o no es detectable por estos análisis (ver cuadro 16, 33 y 34).

b. Nitrógeno total y relación C:N.

Todos los suelos estudiados son muy pobres en nitrógeno total, con valores extremos de 0,11 y 0,03% y un promedio de $0,06 \pm 0,03$ % (90% de confianza). En cuatro de los suelos analizados existe un segundo máximo en la porción superior del horizonte B; la excepción es el FYM1f (ver cuadro 28).

A continuación se presenta la masa de nitrógeno total en 1 m² y 50 cm de profundidad, calculado a partir del Índice de Acumulación del USDA (ver Metodología), junto con la relación C:N del primer sub-horizonte del perfil.

Cuadro 35. Contenido de nitrógeno total por unidad de superficie y de profundidad, y relación C:N ponderada por profundidad, para los suelos de FYMNSA, Rivera.

Uso	Suelo	kg-m ² -50 cm	C:N
Pastoril	FYM3p	0,58	28
	FYM4p	0,75	26
Forestal	FYM1f	0,26	12
	FYM2f	0,49	5
	FYM5f	0,29	12

Se desprende del cuadro que los suelos de pradera son sensiblemente más ricos en nitrógeno que los suelos forestales. Además, es en los suelos de pradera dónde se encuentran los máximos valores de porcentaje en peso de nitrógeno total, ambos obtenidos en el horizonte más superficial: 0,10 en el FYM3p y 0,11 en el FYM4p (ver cuadro 33).

A diferencia de los datos obtenidos para los suelos de Algorta, la relación C:N del primer sub-horizonte es elocuente en señalar las claras diferencias que existen entre los suelos pastoriles y forestales (ver cuadro 17). Los primeros presentan relaciones C:N más bajas en todo el perfil, con valores máximos de 10 a 12, que generalmente ocurren en la parte superior del A. Por su parte, los suelos forestales también presentan valores muy altos en la porción superficial del A, alcanzando relaciones C:N de 30 en el sub-horizonte A2 del FYM5f, aunque luego esta relación disminuya en forma importante a mayor profundidad.

c. Óxidos de hierro.

Todos los suelos estudiados presentan altos porcentajes en peso de óxidos de hierro. Los valores extremos son 0,1 y 3,4, y el promedio es $1,1 \pm 1,3$ (90% de confianza).

La distribución de los óxidos de hierro es característica, presentando una fuerte asociación con el contenido de arcilla, como lo demuestra el coeficiente de correlación de Pearson que se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 36. Promedio ponderado por espesor de sub-horizonte de porcentaje en peso de Fe_2O_3 y coeficiente de correlación de Pearson entre el contenido de arcilla y de óxidos de hierro, ambos como porcentaje en peso, para suelos de FYMNSA, Rivera.

Uso	Suelo	Fe_2O_3 %	r
Pastoril	FYM3p	0,74	0,91
	FYM4p	1,67	0,99
Forestal	FYM1f	0,18	0,36
	FYM2f	0,68	0,85
	FYM5f	2,03	0,87

Los suelos más ricos en óxidos de hierro son el FYM4p y el FYM5f, lo que guarda concordancia con los colores observados en la descripción morfológica, ya que ambos suelos son los que presentan colores más rojizos, especialmente el FYM4p (ver Anexo y cuadro 33).

Se desprende del cuadro 35 que gran parte de la varianza del contenido de óxidos de hierro de estos suelos está explicada por la varianza del contenido de arcilla, ya que se alcanzan valores muy altos de r. La excepción es el FYM1f, que presenta valores muy bajos de contenido de arcilla, propios de un suelo poco desarrollado (ver cuadro 27, 28 y 31).

d. Complejo de intercambio.

Antes de comentar esta propiedad es necesario destacar los datos de capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los sub-horizontes A1 y 3C del perfil FYM1f, determinados tanto a pH 7 como a pH del suelo. Los valores obtenidos son incorrectos, seguramente por errores de procedimiento en el laboratorio, ya que para horizonte tan

ácidos, la CIC a pH del suelo debe ser siempre menor a la CIC a pH 7. Suelos con niveles tan bajos de materia orgánica y arcilla, tal como es el caso del FYM1f, seguramente presentan cargas dependientes del pH que en este caso no se reflejan en los resultados.

Los suelos estudiados presentan una CIC determinada a pH 7 muy baja: el promedio de los horizontes A y E es $4,5 \pm 3,0$ meq/100 g (90% de confianza), con valores extremos de 1,8 y 9,6 meq/100 g, mientras que para el horizonte B el valor promedio es $12,4 \pm 4,5$ meq/100 g (90% de confianza), con magnitudes extremas de 9,3 y 19,4 meq/100 g. A su vez, la CIC determinada a pH del suelo presenta en los horizontes A y E un valor promedio de $2,8 \pm 1,3$ meq/100 g (90 de confianza), mientras que para el horizonte B el promedio es $6,6 \pm 3,2$ meq/100 g (90 de confianza). Este comportamiento es característico de suelos ácidos, donde el aluminio y los iones de hidrógeno libre ocupan los sitios de intercambio (ver cuadro 27).

Es interesante conocer cuáles son las causas de la baja capacidad de intercambio de estos suelos y entre los factores determinantes está el contenido de arcilla y de materia orgánica. Por lo tanto, el siguiente cuadro presenta los cálculos del coeficiente de determinación y de correlación; considerando la CIC como la variable dependiente y el contenido de arcilla y de carbono orgánico como las variables independientes, tanto en conjunto como por separado (ver cuadro 20).

Cuadro 37. Coeficiente de correlación de Pearson entre CIC y las variables independientes contenido de arcilla y contenido de carbono orgánico, consideradas en conjunto y por separado, para suelos de FYMNSA, Rivera.

Variables	r
CIC: arcilla y c.org.	0,75
CIC: arcilla	0,75
CIC: c. org.	-0,35

El coeficiente r entre la CIC y los efectos combinados de la arcilla y el carbono orgánico, revelan que la relación entre la CIC y las variables elegidas es buena. Sin embargo, al analizar las variables por separado, se observa que la correlación entre CIC y arcilla se mantiene alta, mientras que el coeficiente r entre la CIC y contenido de carbono orgánico es muy bajo.

A partir del cuadro 37 se puede afirmar que la materia orgánica que se encuentra en estos suelos no aporta a la capacidad de intercambio catiónico, seguramente por el bajo contenido de materia orgánica que presentan estos suelos. Sería interesante

conocer la naturaleza de los coloides orgánicos de estos suelos, para determinar su participación en el complejo de intercambio del suelo.

Si bien la correlación entre la CIC y la arcilla no es tan alta como para los suelos de Algorta, es suficiente para provocar una diferencia abrupta al comparar esta propiedad entre el horizonte superficial y el textural (ver cuadro 20).

Asimismo es de interés conocer cómo afecta el uso del suelo el comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico. Por lo tanto, el cuadro 38 presenta la CIC promedio por horizonte y uso del suelo.

Cuadro 38. CIC promedio (90% de confianza) por horizonte y uso del suelo, para suelos de FYMNSA, Rivera.

Hz	Pastoril		Forestal	
	pH 7	pH suelo	pH 7	pH suelo
A	$4,4 \pm 1,5$	$2,8 \pm 0,6$	$4,6 \pm 3,7$	$2,9 \pm 1,7$
B	$11,8 \pm 3,7$	$6,1 \pm 3,4$	$13,1 \pm 6,1$	$7,2 \pm 3,8$

A diferencia de lo encontrado para los suelos de Algorta, el promedio de la CIC de los suelos forestales es ligeramente superior al de los suelos de pradera, tanto en el horizonte A como en el B (ver cuadro 19). Sin embargo, la escasa diferencia encontrada para los distintos usos y el alto desvío típico que presenta la CIC en los suelos bajo bosque hacen imposible concluir sobre el efecto que el uso del suelo tiene sobre esta propiedad (ver cuadro 33).

En cuanto a la diferencia entre horizontes, es claro que el horizonte A es el que presenta los valores más bajos de CIC (ver cuadros 28 y 29). Este aumento de la CIC en el horizonte textural es coherente con lo visto en el cuadro 37, ya que la riqueza de arcilla permite mayor capacidad de intercambio en el suelo.

El contenido de bases intercambiable de estos suelos de textura liviana, lixiviados, pobres en materia orgánica, es muy reducido. Lo mismo ocurre con el porcentaje de saturación en bases. Se observa que la mayor concentración de cationes ocurre en los horizontes inferiores, allí donde la CIC presenta los valores más elevados. De todas maneras, el contenido absoluto es siempre muy pobre (ver cuadro 27).

El siguiente cuadro presenta el contenido medio absoluto y relativo de Ca, Mg, K y Na, para los horizontes A y B.

Cuadro 39. Contenido medio de bases intercambiables en los horizontes A y B, para suelos de FYMNSA, Rivera.

Bases	Horizonte A Media		Horizonte B Media	
	meq/100 g	%	meq/100 g	%
Ca	0,8	51	1,3	45
Mg	0,4	25	1,1	39
K	0,2	12	0,2	8
Na	0,2	13	0,2	8
Bases totales	1,6		2,8	

Se observa que los elementos alcalino térreos, calcio y magnesio, son las bases dominantes, tanto en valores absolutos como relativos, para ambos horizontes considerados. Sin embargo, el horizonte B es claramente más rico en Ca y Mg que el horizonte A. La relación Ca/Mg, es muy estrecha para ambos horizontes, 2,0 para el A y 1,2 para el B, lo que indica la activa lixiviación de estos suelos (ver cuadro 23).

El contenido de K y Na es muy reducido, y prácticamente iguales. Asimismo, no se observan diferencias en la distribución de estos elementos en el perfil, ya los valores obtenidos para el horizonte A y para el B son casi idénticos (ver cuadro 27 y 39).

En gran parte de la bibliografía se cita el contenido de nutrientes de los diferentes compartimentos que forman el sistema suelo-vegetación en unidades de masa por unidad de superficie. En este trabajo se estudia exclusivamente el compartimento suelo, pero es interesante presentar la información en esas unidades (ver Revisión Bibliográfica).

A continuación se presenta la masa de bases intercambiables por unidad de superficie en 100 cm de suelo, calculada a partir de las ecuaciones del USDA, 1995 (ver Metodología).

Cuadro 40. Masa de cationes intercambiables por profundidad y unidad de superficie para los suelos de FYMNSA, Rivera.

Uso	Suelo	Ca	Mg	K	Na
		tt/ha en 100 cm			
Pastoril	FYM3p	8,7	3,4	3,3	1,9
	FYM4p	4,3	1,8	1,8	1,1
Forestal	FYM1f	2,0	0,3	0,4	0,5
	FYM2f ⁶	3,1	1,3	1,1	0,6
	FYM5f	9,4	3,8	3,9	2,3

A partir del cuadro se puede afirmar que el contenido de bases intercambiables es generalmente mayor en suelos de uso pastoril. Si bien es en un suelo forestal, el FYM5f, dónde se encuentra los valores más elevados de nutrientes, los restantes suelos forestales, FYM1f y FYM2f, son muy pobres en nutrientes. Sin embargo es necesario tener en cuenta que de los suelos forestales, el FYM1f es un Inceptisol, que carece de horizonte B y, por lo tanto, con valores de CIC muy bajos, inferiores al promedio de los otros cuatro suelos estudiados. De esta manera, no es posible concluir, que para estas condiciones, los suelos forestales sean más pobres en nutrientes que los de pradera (ver cuadros 27 y 38).

El mantillo forestal estudiado para el suelo FYM2f es escasamente más rico que el primer sub-horizonte, y sobre todo lo es en Ca y Mg. Sin embargo, una vez más se observa el escaso intercambio que existe entre el mantillo y el suelo (ver cuadro 27).

Una de las características más notorias de estos suelos es el elevado contenido de aluminio intercambiable que presentan, sin excepción. En todos los suelos existen sub-horizontes que superan el 55% de aluminio intercambiable. Asimismo, los datos de pH en KCl revelan que más del 80% de los datos presentan valores por debajo de 4, lo que indica la extrema acidez de estos suelos.

⁶ Para los fines del cálculo, se asume que la densidad aparente de los sub-horizontes B3 y C del suelo FYM2p es igual a la del sub-horizonte B2 del mismo suelo: 1.53 g.cc⁻¹.

El siguiente cuadro presenta la proporción de aluminio intercambiable y los valores promedio de pH en KCl para tres compartimentos, todo el perfil, horizontes A y E, y el horizonte B.

Cuadro 41. Promedio de porcentaje de aluminio intercambiable y pH en KCl, para los suelos de FYMNSA, Rivera.

Hz	% Al intercambiable	pH KCl
	Promedio con 90% de confianza	
Perfil	47 ± 20	$3,7 \pm 0,3$
A+E	40 ± 23	$3,8 \pm 0,4$
B	54 ± 14	$3,6 \pm 0,2$

Se desprende del cuadro que la proporción de aluminio intercambiable es sumamente elevada. Hay que considerar que esta medida de aluminio intercambiable es realmente acidez intercambiable, pero debido al muy bajo contenido de materia orgánica y a la acidez de estos suelos, se pueda afirmar que toda la acidez titulable se debe al aluminio (ver Revisión Bibliográfica).

A partir de los datos que se presentan en el cuadro 41 se observa que el horizonte B es el que tiene mayor proporción de aluminio intercambiable, y es también el que presentan menor variación en esta característica. Asimismo, el horizonte B es el más ácido de los tres compartimentos estudiados (perfil, horizontes A y E, y horizonte B), aunque la diferencia sea muy leve (ver cuadros 33 y 41).

Por otro lado, los datos obtenidos reflejan que no existen diferencias significativas en el contenido de aluminio que puedan explicarse por el uso del suelo (ver cuadro 33).

A continuación se presenta la discusión de los resultados obtenidos para la saturación en bases, tanto a pH 7 como a pH del suelo. Es bueno recordar lo aclarado al comienzo de la discusión del complejo de intercambio, en cuanto al error cometido al estimar los valores de CIC para los sub-horizontes A1 y 3C del perfil FYM1f, lo que indefectiblemente afecta los valores de saturación en bases.

La materia orgánica y la naturaleza de los minerales que componen estos suelos (ver Revisión Bibliográfica) hacen que su acidez característica afecte la capacidad de intercambio de cationes, y por lo tanto, la saturación en bases. Con el objetivo de conocer la participación que tienen las posiciones de intercambio dependientes del pH, se presenta en el siguiente cuadro la saturación en bases promedio determinada a pH 7 y pH del suelo, para los horizontes A y el B.

Cuadro 42. Promedio de saturación en bases a pH 7 y pH del suelo, para los horizontes A y B de los suelos de FYMNSA, Rivera.

Hz	Saturación en bases %	
	pH 7	pH suelo
A	41 ± 24	59 ± 23
B	24 ± 7	46 ± 14

A partir del cuadro se puede afirmar que en los horizontes profundos parecen ser más pobres en bases que los horizontes superficiales. Una explicación plausible es que en estos suelos la extracción de bases por las raíces y la fuerte lixiviación provocada por la alta permeabilidad característica, que empobrece al perfil, hacen que los horizontes profundos tengan menor contenido de bases, lo que se refleja en una baja saturación (Durán, com.pers., 1999).

e. Reacción en agua y KCl.

La acidez de estos suelos es muy elevada, en algunos casos con valores de pH en agua inferiores a 4.5, y de pH en KCl inferiores a 3.7. No existe una tendencia definida para la acidez, que no varía sustancialmente a mayor profundidad. Por otro lado, el pH de los suelos estudiados presenta escasa variación a través del perfil, ya que el pH en agua presenta un coeficiente de variación de 6,2%, y el pH en KCl, a su vez, tiene un coeficiente de variación de 4,4%. Esto es coherente con la baja saturación en bases de todos los horizontes y particularmente de los profundos (ver cuadro 33).

A continuación se presenta un cuadro con la información de un total de 30 medidas de pH, clasificada por categorías de acidez.

Cuadro 43. Clasificación de la acidez determinada en agua por categoría y uso de los suelos de FYMNSA, Rivera.

Categoría .	Rango	Pastoril		Forestal	
		n	%	n	%
Extremadamente ácidos	4,0 – 4,5	1	8	2	11
Muy fuertemente ácidos	4,6 – 5,0	6	50	13	72
Fuertemente ácidos	5,1 – 5,5	5	42	3	17
Totales		12		18	

El cuadro es elocuente respecto a la acidez del suelo. Aparece una nueva categoría, *extremadamente ácidos*, que no se emplea para los suelos de Algorta, y desaparecen otras, como *medianamente ácidos* y *otros*. Por lo tanto, las 30 medidas de pH varían en un rango que está entre 4,0 y 5,5, y para ambos usos, la categoría más frecuente es *muy fuertemente ácidos*.

Sin embargo, es posible afirmar que los suelos forestales son más ácidos que los de pradera, ya en las dos categorías más ácidas los suelos forestales tienen una mayor presencia relativa.

V. CONCLUSIONES.

A. DIFERENCIAS GENERAL ENTRE LOS SUELOS ESTUDIADOS EN LA CNJP, RÍO NEGRO, Y EN FYMNSA, RIVERA.

La gran mayoría de los suelos estudiados se incluyen dentro del Orden de los Suelos Desaturados Lixiviados: tres de los suelos de la CNJP, Río Negro, se clasifican como Luvisoles, mientras que cuatro de los de FYMNSA, Rivera, como Acrisoles. Las excepciones son dos suelos de Río Negro (N16-2p y N16-3f), clasificados dentro del Suelos Saturados Lixiviados, como Planosoles, y uno de Rivera, el FYM1f, que se trata de un Inceptisol, y como tal forma parte de los Suelos Poco Desarrollados.

A partir de este trabajo surgen algunas diferencias entre los suelos de las dos zonas estudiadas, que se detallan a continuación:

- Los suelos de Río Negro son más oscuros que los suelos de Rivera a lo largo de todo el perfil, sin las tonalidades rojizas o amarillentas propias de éstos últimos, que para algunos sub-horizontes llegan completamente al rojo (FYM4p) o al amarillo (FYM5f).
- Los suelos de Río Negro presentan un horizonte argilúvico más desarrollado, con una estructura prismática fuerte, muy poco permeable, que permite la saturación de agua de la base del horizonte A, dando lugar a un horizonte álbico. Si bien el horizonte B de los Acrisoles de Rivera es de textura pesada, no alcanza el grado de desarrollo descrito para los suelos observados en la CNJP, Río Negro.
- Los suelos estudiados en FYMNSA, Rivera, presentan menor volumen de agua disponible que los de la CNJP, Río Negro, tanto para los primeros 100 cm de suelo, como para los horizontes A y E.
- Los suelos de Río Negro son significativamente más ricos en bases que los de Rivera. El promedio de bases de los suelos de la CNJP, Río Negro, es 3,5 y 13,1 me/100, para el horizonte A y B, respectivamente. A su vez, para los suelos de FYMNSA, Rivera, el promedio de bases es 1,6 y 2,8 me/100 g, también para los horizontes A y B, respectivamente.
- Tal como cita la bibliografía, la saturación en bases de los Luvisoles de Río Negro es muy superior a la de los Acrisoles de Rivera. Los Suelos Desaturados Lixiviados de la CNJP, Río Negro, presentan a pH 7 una saturación en bases del orden de 70% para el horizonte A y de 78 para el horizonte B, mientras que los perfiles estudiados en FYMNSA, Rivera, presentan magnitudes del orden de 41% para el horizonte A y de 24% para el horizonte B.
- También de acuerdo a lo indicado en la bibliografía, la baja saturación en bases de los Acrisoles de Rivera lleva al desarrollo de una fuerte acidez y a la presencia

de una proporción muy importante de aluminio intercambiable, del orden de 40% para el horizonte A y de 54% para el horizonte B. Estos valores de aluminio intercambiable superan ampliamente a los de los Luvisoles de Río Negro, que si bien por definición superan el 5% al menos en un sub-horizonte del horizonte argilúvico, para sub-horizontes con pH en KCl menor o igual a 4, los datos obtenidos son del orden de 14% en los horizontes A y E, y 6,2% en el horizonte B. Las magnitudes de aluminio intercambiable determinadas para los Luvisoles de Río Negro, incluidos dentro de la asociación Algorta, refuerzan las conclusiones formuladas por Durán, Ruiz e Ippolitti, 1994 (no publicado), en cuanto a que los Luvisoles deben incluirse como suelos dominantes en dicha asociación de suelos

- Los suelos de Rivera presentan una reacción más ácida que los suelos de Río Negro. Las determinaciones de pH en agua de los primeros varían en un rango de 4,0 a 5,5, con 73% de los valores entre 4,0 y 5,0, mientras que para los últimos el pH en agua oscila entre 4,5 y 6,8, con el 76% de las determinaciones por encima de 5,1.

Estas conclusiones permiten verificar lo indicado por la bibliografía, ya que se puede afirmar que las diferencias encontradas entre los Luvisoles de Río Negro y los Acrisoles de Rivera se deben fundamentalmente al material parental, que para el caso de los Luvisoles es capaz de reponer los cationes que se pierden por lavado, meteorizando minerales primarios. Asimismo, la mayor permeabilidad de los perfiles de los Acrisoles de Rivera hacen que las pérdidas de bases por lavado en profundidad sean mayores que para los Luvisoles de Río Negro.

A. DIFERENCIAS EN LOS SUELOS ESTUDIADOS DEBIDO AL PASAJE DE USO PASTORIL A FORESTAL.

1. Conclusiones generales.

Este trabajo sugiere algunas hipótesis útiles para futuros estudios del efecto del cultivo de especies forestales en suelos de pradera, ya que fue realizado en plantaciones forestales que se encuentran entre las más antiguas del país, y que por lo tanto, son sitios donde los efectos del cultivo forestal sobre el suelo serían más evidentes. Sin embargo, como limitantes inmediatas presenta un bajo número de puntos relevados y la escasez de un análisis estadístico de los datos obtenidos. Por lo tanto, se trata de una primera contribución, que debería profundizarse para obtener resultados de mayor validez.

Tal como se comenta en el literal anterior, los suelos estudiados, tanto en la CNJP, Río Negro, como en FYMNSA, Rivera, presentan características que están

fundamentalmente determinadas por el material parental y la lixiviación del perfil, dónde el cambio de uso del suelo, de pastoril a forestal, no presenta modificaciones consistentes para las dos zonas estudiadas.

La excepción a lo anterior es la reacción, que tanto para los perfiles estudiados en la CNJP, Río Negro, y en FYMNSA, Rivera, se revela más ácida en los suelos forestales.

Por otro lado, la prioridad forestal coincide en todos los suelos estudiados con la aptitud forestal, ya que el conjunto de las propiedades físicas y químicas analizadas tanto en la CNJP, Río Negro, como en FYMNSA, Rivera, generan un ambiente favorable para el cultivo de las especies seleccionadas.

2. Conclusiones particulares.

En los literales siguientes se enumeran aquellas propiedades dónde existen diferencias claras para el uso pastoril o forestal, en cada uno de las zonas estudiadas.

a. CNJP, Río Negro.

- Los suelos de uso pastoril tienen mayor capacidad de agua disponible que los forestales, tanto para los primeros 100 cm de suelo como para los horizontes A y E.
- Con excepción del N16-1p, los suelos de Río Negro presentan menor masa de carbono orgánico por unidad de superficie y profundidad que los de Rivera.
- Los suelos forestales son más ácidos que los de pradera. El 50% de los valores de pH en agua determinados para los suelos de pradera oscilan entre 4,5 y 5,5, mientras que para los suelos forestales más del 79% de los datos obtenidos se encuentran en ese rango.
- El suelo N16-2p es una pobre elección como testigo frente a los suelos forestales, ya que presenta evidencias de cultivo agrícolas esquilmanes, que fue la causa de la fuerte depresión de sus propiedades físicas y químicas.

b. FYMNSA, Rivera.

- Los suelos forestales tienen mayor capacidad de agua disponible que los de uso pastoril.
- Para los primeros 100 cm, los suelos forestales son más ricos en carbono orgánico que los suelos de pradera. La masa de carbono orgánico de los suelos forestales es del orden de 11 kg-m²-100 cm, mientras que para los suelos de pradera es del orden de 9 kg-m²-100 cm.

- Los suelos de pradera tienen en promedio un 50% más de nitrógeno total estimado en $\text{kg}^2\text{-m}^2\text{-50 cm}$ que los suelos de pradera. También presentan una relación C:N más alta.
- Los suelos forestales son más ácidos que los de pradera. El 83% de los valores de pH en agua determinados para los suelos forestales oscilan entre 4,0 y 5,0, mientras que para los suelos de pradera sólo el 58% de los datos obtenidos se encuentran en ese rango.
- El suelo FYM1f no forma parte de los suelos dominantes bajo uso forestal de la zona, ya que presenta características físicas y químicas muy diferentes al resto de los suelos estudiados.

VI. RESUMEN.

Con los objetivos principales de cuantificar la variabilidad de las propiedades de suelos lixiviados de textura franco arenosa en el horizonte superficial y de hacer una primera aproximación al efecto del cultivo de especies forestales en suelos de pradera, se caracterizaron morfológica, física y químicamente perfiles de dos zonas con desarrollo forestal en los departamentos de Río Negro y Rivera, las plantaciones de la CNJP y de FYMNSA, respectivamente. Se estudiaron los suelos en dos situaciones: bajo pradera natural y bajo bosques de al menos 15 años, compuestos por plantaciones comerciales de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*, con la excepción de un perfil estudiado bajo una plantación de *Eucalyptus grandis*. De los diez perfiles estudiados, la mayoría se clasificaron dentro del Gran Grupo de los Desaturados Lixiviados, tres como Luvisoles en Río Negro, y cuatro como Acrisoles en Rivera. Las excepciones fueron dos Planosoles en Río Negro y un Inceptisol en Rivera.

A partir del estudio de los perfiles, se verifican conclusiones de la bibliografía citada (Durán, 1973; Durán, 1991; Durán, Ruiz e Ippolitti, 1994 (no publicado), en cuanto a que las diferencias entre Acrisoles y Luvisoles se deben fundamentalmente a la naturaleza del material parental. Los Luvisoles son capaces de reponer las pérdidas de bases por lixiviación mediante la meteorización de minerales primarios, mientras que esto no es posible para el caso de los Acrisoles. Esta pérdida de bases en los Acrisoles hace que la reacción sea ácida, y que la proporción de aluminio intercambiable sea alta. El fenómeno de acidez y presencia de aluminio intercambiable ocurre también en los Luvisoles, aunque en menor grado.

En cuanto al efecto del cultivo de árboles en suelos de pradera, la única propiedad que se ve afectada consistentemente por el pasaje del uso pastoril al forestal en ambos sitios, CNJP, Río Negro, y FYMNSA, Rivera, es la reacción, que es más ácida para los suelos forestales. Los datos obtenidos para otras propiedades, como capacidad de agua disponible, contenido de carbono orgánico y nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico, entre otras, no permiten concluir sobre la influencia en el suelos del cultivo de especies forestales de rápido crecimiento.

VII. SUMMARY.

Physical and chemical analysis, along with morphological description, was carried out in soils of some areas of the departments of Río Negro and Rivera, Uruguay, where commercial plantations of fast growing tree species, specially *Pinus taeda* and *Pinus elliottii*, are the main use for the land. This work pursues to study soils of sandy clay loam texture at the superficial horizon in two situations of land use, grassland and forest of at least 15 years old, in order to quantify the properties of these leached soils and to evaluate the effects of tree growing in former prairie soil.

According with the current Uruguayan Soil Classification, in Río Negro were found three Luvisoles and two Planosoles, while in Rivera four of the studied soils were classified as Acrisoles and one as Inceptisol.

This study observes that the differences between Luvisoles and Acrisoles are due to the kind of parent material the soils develop from, which verifies the conclusions of previous works (Durán, 1973; Durán, 1991; Durán, Ruiz and Ippolitti, 1994 (unpublished)). Luvisoles are capable of replacing leached bases from minerals, while Acrisoles cannot. Through weathering and leaching, Acrisoles loose its bases reserve, leading to very soil acid reaction and to high proportions of interchangeable aluminium.

The only effect of growing trees in former grassland that is observed in both sites studied is the soil reaction, which is consistently more acid in forest soil than in grassland soils. It is not possible to extract conclusions directly related to the use of the land for any other soil property studied.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- BALPARDA, Alberto 1989. Estudio sobre el crecimiento de *Pinus taeda* L. en la Zona 7 de CIDE - Rivera. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 144 p.
- BLACK, C. 1965a. Methods of Soil Analysis. Part I. Physcal and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling. Madison, Winsconsin. American Society of Agronomy, Inc. 770 p.
- , 1965b. Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties. Madison, Winsconsin. American Society of Agronomy, Inc. 802 p.
- BONNEAU, E. ET AL. 1987. L'acidification des sols. Bull. Ecol. 18, 3. 127-136.
- BOSSI, J. et al. 1975. Carta geológica del Uruguay. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Ministerio de Agricultura y Pesca. 32 p.
- CALIFRA A. y TARO G. 1982. Caracterización de una toposecuencia de suelos representativos de la cuenca de Aceguá (Dpto. Cerro Largo). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 261 p.
- DEL PUERTO, O. 1987. Vegetación del Uruguay. Facultad de Agronomía. Montevideo. 16 p.
- DENIS V. y GARCÍA F. 1997. Estimación del factor C de la ecuación universal de pérdida de suelo en la instalación de montes de rendimiento de eucaliptos. Agrociencia. Volumen 1. N° 1. 100 p.
- DURÁN, A. 1973. Caracterización y génesis de algunas praderas arenosas de Tacuarembó y Rivera. Ministerio de Ganadería y Agricultura. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Boletín Técnico N° 2. 41 p.
- , 1991. Los suelos del Uruguay. Montevideo. 2ª Edición. Editorial Hemisferio Sur S.R.L. 397 p.
- , GARCÍA, F., LABELLA S., 1992. Propiedades hídricas de los suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 119 p.

- .; RUIZ, A.; IPPOLITI, G. 1994 (no publicado). Caracterización física, química y mineralógica de suelos de la asociación Algorta. Montevideo, Facultad de Agronomía.
- HERNÁNDEZ J.; MEURER, E. 1997. Oxidos de hierro en los suelos: sus propiedades y caracterización con énfasis en los estudios de retención de fósforo. Facultad de Agronomía. Agrociencia. Volumen 1. N° 1. 100 p.
- MARTINO D. et al. 1997. La forestación con eucaliptos en Uruguay: su impacto sobre los recursos naturales y el ambiente. INIA. Serie Técnica N° 88. 22 p.
- LEÓN T.; SUAREZ A. 1998. Efectos de Plantaciones Forestales sobre Suelo y Agua. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal de Colombia. Serie técnica N° 40. 158 p.
- PAULA LIMA, W. 1996. Impacto ambiental do eucalipto. 2° Edición. San Pablo. Editora da Universidades de Sao Paulo. 301 p.
- PONCE DE LEÓN, J. 1981. Caracterización de un vertisol de la unidad "La Carolina. I. Propiedades físicas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 242 p.
- PRITCHETT, W. 1991. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. México, D.F. 1ª edición. Editorial Limusa. 634 p.
- RABUFFETTI, A. 1993. Nutrición catiónica. Montevideo, Facultad de Agronomía. 154 p.
- SILVA A., PONCE DE LEÓN J., GARCIA F., DURÁN A., 1988. Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Boletín de Investigación N° 10. Montevideo, Facultad de Agronomía. 20 p.
- SOIL SURVEY LABORATORY INFORMATION MANUAL. National soil survey center. Soil Survey Laboratory. Lincoln, Nebraska. Soil Survey Investigation Report N°45. May 1995.
- SPURR S. & BARNES B. 1980. Forest Ecology. New York. 3ª edición. John Wiley & Sons. 687 p.

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE AGRONOMÍA. Manual para la descripción e interpretación del perfil. Montevideo. 71 p.

URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. COMISIÓN NACIONAL DE ESTUDIO AGROECONÓMICO DE LA TIERRA. 1979. Índices de productividad. Grupos CONEAT. Montevideo

-----, MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN FORESTAL. 1994. Uruguay Proyecto Regional de Alternativas Para la Inversión Forestal (PRAIF). Washington D.C.

-----, MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1979. Carta de Reconocimiento de suelos del Uruguay. Tomo I y III. Clasificación de Suelos. Montevideo.

IX. ANEXO

A. DESCRIPCIÓN DE PERFILES MODALES DE LA CJNP, RÍO NEGRO.

1. Perfil N16-1p.

Forma de observación:	Calicata: largo 2,0 m; ancho 1,5 m; profundidad 1,5 m.
Geomorfología:	Interfluvio suavemente ondulado
Geología:	Formación Mercedes
Relieve local:	Ladera alta algo convexa - Este
Pendiente:	4%
Microrrelieve:	Muy leve, de chacra.
Escurrimiento:	Medio - Grado 3
Erosión actual:	Ligera
Drenaje natural:	Algo pobre
Condición del suelo	Húmedo
Vegetación natural:	Pastura regenerada densa muy vieja con algo de cardilla y carqueja (<i>Bacharis trimmera</i>).
Uso actual de la tierra:	Pastoril de baja intensidad.

0-19 cm A1	Pardo muy oscuro (10YR2/2 húmedo); franco arenoso; bloques sub angulares, débiles a moderados; muy friable; abundantes raíces, gruesas y finas; mineral 1º: cuarzo; transición clara suave.
19-37 cm A2	Pardo muy oscuro (10YR2/1.5 húmedo); franco arenoso; bloques sub angulares, moderados a débiles; muy friable; pocos poros, tubulares; abundantes raíces, gruesas y finas; mineral 1º: cuarzo; transición clara suave.
37-48 cm A3	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2 húmedo); franco arenoso liviano; bloques sub angulares, moderados; muy friable; pocos poros, tubulares; abundantes raíces, gruesas y finas; mineral 1º: cuarzo; transición gradual suave.
48-56 cm E	Pardo grisáceo oscuro (10YR4/2 húmedo); moteado pardo, poco, tenue, límites difusos; franco arenoso liviano; bloques sub angulares, débiles a moderados; muy friable; raíces abundantes; mineral 1º: cuarzo; transición abrupta suave.

56-66 cm Bt1	Gris muy oscuro (10YR3/1 húmedo); moteado pardo fuerte (7.5YR 5/8), abundante, pequeño, neto, claro; franco arcillo arenoso; bloques sub angulares, fuertes; películas de arcilla, delgadas; plástico a muy plástico; pocos poros, tubulares; cantidad moderada de raíces; mineral 1º: cuarzo; transición clara suave.
66-77 cm Bt2	Gris muy oscuro (10YR3/1) y gris oscuro (10YR4/1 húmedo), con vetas negras; moteado rojo (2.5YR5/8 y 7.5YR4/8), sobresaliente, abrupto; arcillo arenoso; bloques sub angulares, fuertes; películas de arcilla continuas; plástico a pegajoso; pocos poros, tubulares; pocas raíces; mineral 1º: cuarzo; transición gradual suave.
77-97 cm Bt3	Gris (10YR5/1) y pardo grisáceo (10Y5/2 húmedo); moteado rojo (2.5YR4/8), abundante, grandes, sobresaliente, abrupto; arcillo arenoso liviano; bloques sub angulares, fuertes; películas de arcilla, medias a delgadas continuas; plástico a pegajoso; poros tubulares, pocos a moderados; pocas raíces; mineral 1º: cuarzo; transición gradual suave.
97-140 cm Bt4	Gris (10YR5/1) y pardo grisáceo (10YR5/2 húmedo); moteado rojo (2.5YR4/8), abundante, grande, sobresaliente, abruptos; franco arcillo arenoso; películas de arcilla discontinuas; débilmente plástico a débilmente pegajoso; poros tubulares, pocos a moderados ; pocas raíces; mineral 1º: cuarzo (algún lavado).
240-260 cm C	Pardo amarillento a pardo levemente amarillento (5YR5/4); moteado blanco, poco, medio, neto; franco arcilloso pesado. Muestra extraída con taladro desde el fondo de la calicata.

2. Perfil N16-2p.

Forma de observación:	Calicata pequeña (horizontes A - E - Bt superior) 1x1x1 m
Geomorfología:	Interfluvio suavemente ondulado
Geología:	Formación Mercedes
Relieve local:	Ladera alta convexa - Oeste
Pendiente:	2 a 3%
Microrrelieve:	Leve, de chacra.
Escurrimiento:	Medio - Grado 3
Erosión actual:	Ligera
Drenaje natural:	Algo pobre.
Condición del suelo	Húmedo

Vegetación natural:	Pastura regenerada vieja con abundante cardilla y carqueja (<i>Bacharis trimmera</i>).
Uso actual de la tierra:	Pastoril de baja intensidad.
Observaciones:	Suelo muy húmedo: los horizontes E y Bt1 están mojados a saturación.
0-18 cm A1	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) húmedo y pardo grisáceo (10YR5/2) seco; franco arenoso; bloques sub angulares, débiles; pocos revestimientos delgados; muy friable; abundantes raíces; mineral 1º: cuarzo; transición clara.
18-40 cm A2	Pardo muy oscuro (10YR2/2) húmedo; franco arenoso; bloques sub angulares débiles; pocos revestimientos delgados; muy friable; abundantes raíces; mineral 1º: cuarzo; transición clara.
40-53 cm A3	Pardo oscuro (10YR3/3) húmedo; moteado pardo (7.5YR 4/4), poco, tenue, límites difusos; franco arenoso; bloques sub angulares, débiles; muy friable, suelto; concreciones de Fe y Mn, pocos, duros, grandes; abundantes raíces; mineral 1º: cuarzo; transición clara.
53-71 cm E	Pardo grisáceo (10YR5/2) húmedo; moteado pardo amarillento (10YR5/6), común, medio, neto, claro; franco arenoso, liviano; bloques sub angulares; muy friable, suelto; concreciones de Fe y Mn, pocas, medios, duros; abundantes raíces; mineral 1º: cuarzo; transición abrupta.
71-100 cm Bt1	Gris oscuro (10YR4/1) húmedo; moteados pardo fuerte (7.5YR5/6), abundante, grandes, neto, claros, y moteados rojos, comunes, sobresaliente, abrupto; arcillo arenoso; prismática, fuerte; películas de arcilla medias, continuas; plástico; pocos poros tubulares; moderada cantidad de raíces; mineral 1º: cuarzo.

3. Perfil N16-3f.

Forma de observación:	Ídem N16-2p.
Geomorfología:	Interfluvio suavemente ondulado
Geología:	Formación Mercedes
Relieve local:	Ladera suave, casi plana
Pendiente:	2%
Microrrelieve:	Mantillo y tocones de pino.
Erosión actual:	Nula
Drenaje natural:	Algo pobre ¿Moderado?
Condición del suelo:	Húmedo en el horizonte A; humedad disminuye en función de la profundidad.
Vegetación natural:	Sobre el mantillo, algunos helechos (<i>Blechnum spp.</i> , <i>Adiantopsis spp.</i>) y macachines (<i>Oxalis spp.</i>)
Uso actual de la tierra:	Plantación de <i>Pinus taeda</i> de más de 15 años de edad, con cubrimiento denso del suelo por acículas secas. Abundante regeneración natural.
Observaciones:	Horizonte A humedecido por lluvia reciente; horizonte E casi seco; horizonte Bt superior algo húmedo de lluvias anteriores.

3-0 cm O	Mantillo denso y continuo de acículas, algo descompuesto en la base; color negro.
0-14 cm A1	Gris muy oscuro (10YR3/1) húmedo; franco arcilloso, liviano; bloques sub angulares, débiles; muy friable; abundantes raíces; mineral 1º: cuarzo; granos de cuarzo lavados; transición clara suave.
14-37 cm A2	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) húmedo; franco arcilloso, liviano; bloques sub angulares pequeños a medios, débiles; muy friable; abundantes raíces; mineral 1º: cuarzo; granos de cuarzo lavados; transición clara suave.
37-52 cm E	Pardo (10YR4/3) húmedo, pardo grisáceo (10YR5/2) seco; moteado color pardo amarillento, poco, muy pequeño, tenue, claro; franco arenoso, liviano; masivo; muy friable; concreciones de Fe y Mn, pocas, duras; pocos poros tubulares; pocas raíces; mineral 1º: cuarzo; granos de cuarzo lavados; transición abrupta ondulante.

52-63 cm Pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) húmedo; moteado rojo (10R4/6),
Bt1 abundante, grande, neto, abrupto; franco arcillo arenoso; prismas muy gruesos, fuerte; películas de arcilla, delgadas, en mancha extremadamente firme; pocos poros tubulares; muy pocas raíces; mineral 1º: cuarzo; granos de cuarzo lavados y revestidos; transición clara.
Parece degradado: pocas películas, textura intermedia entre E y Bt2, estructura igual a Bt2.

63-80 cm Gris oscuro (2/5Y4/1) húmedo; moteado rojo (10R4/6), abundante, grande,
Bt2 sobresaliente, abrupto; arcillo arenoso; moteado pardo (7.5YR), común, medio, neto, claro; prismas muy gruesos, fuerte; películas de arcilla medias, continuas; extremadamente firme; pocos poros tubulares; raíces escasas a muy pocas; mineral 1º: cuarzo; granos de cuarzo revestidos.

4. Perfil N16-4f.

Forma de observación: Calicata 2x1,5x1,5 m
Geomorfología: Interfluvio suavemente ondulado
Geología: Formación Mercedes
Relieve local: Ladera suave, casi plana
Microrrelieve: Mantillo y tocones de pino.
Erosión actual: Nula
Vegetación natural: Sobre el mantillo, algunos helechos y macachines.
Uso actual de la tierra: Plantación de *Pinus taeda* de más de 15 años de edad, con cubrimiento denso del suelo por acículas secas.
Abundante regeneración natural de pinos.
Observaciones: En los horizontes A y E hay raíces horizontales y verticales, mientras que en el horizonte B hay canales de raíces, vivas y muertas, pero sólo entre los prismas, de desarrollo vertical. Generalmente se trata de raíces finas, de diámetro inferior a 2 mm.

0-15 cm Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) húmedo; franco arenoso; bloques
A1 sub angulares pequeños a medios, débiles; muy friables; raíces abundantes; mineral 1º: cuarzo; transición clara suave.

15-30 cm A2	Gris muy oscuro (10YR 3/1) húmedo; franco arenoso; bloques sub angulares medios, débiles; muy friables; raíces abundantes; mineral 1º: cuarzo; transición clara suave.
30-50 cm E	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) húmedo, gris ligeramente pardusco (10YR6/2) seco; moteado pardo amarillento oscuro (10YR3/6), común, medio, contraste neto, límites claros; franco arenoso, liviano; estructura masiva, con algunos bloques sub angulares medios; muy friable; concreciones de Fe y Mn, pocas, medias, duras; muy friable; pocos poros tubulares; moderado contenido de raíces; mineral 1º: cuarzo; transición abrupta suave.
50-60 cm Bt1	Gris muy oscuro (10YR 3/1) húmedo; moteado pardo fuerte (7.5YR6/8), abundante, medio, neto, claro; arcillo arenoso; bloques prismáticos muy gruesos, fuertes; películas de arcilla, delgadas a medias, continuas; extremadamente firmes; pocos poros tubulares; raíces moderadas; mineral 1º: cuarzo (F); transición clara suave.
60-90 cm Btss2	Gris oscuro (10YR4/1) húmedo; moteado pardo fuerte (7.5YR6/8), abundante, grande, sobresaliente, abrupto; arcillo arenoso; bloques prismáticos muy gruesos, fuertes; películas de arcilla, delgadas a medias, continuas, slickensides horizontales, discontinuas; extremadamente firmes; concreciones de Fe y Mn, pocas, grandes, duras; pocos poros tubulares; raíces moderadas; mineral 1º: cuarzo; transición gradual suave. Revestimientos negros, de arcilla y materia orgánica, en las caras verticales de los bloques.
90-120 cm Bt3	Pardo (7.5YR5/4); arcillo arenoso; bloques prismáticos gruesos; películas de arcilla pardo oscuro (7.5YR4/1), delgadas, discontinuas; extremadamente firme; concreciones de Fe y Mn, comunes, pequeñas, duras; muy pocos poros; raíces moderadas; mineral 1º: cuarzo. Se observa algún clasto de arenisca rosada.

5. Perfil N16-5f.

Forma de observación:	Calicata 2x1,5x1,5 m.
Geomorfología:	Interfluvio suavemente ondulado
Geología:	Formación Mercedes
Relieve local:	Ladera larga, alta, recta.
Pendiente:	5%
Drenaje natural:	Moderado → algo pobre.
Condición del suelo:	Ligeramente húmedo.
Erosión actual:	Nula.
Vegetación natural:	Sin rastros debido al espeso mantillo de hojas, restos de corteza y ramas.
Uso actual de la tierra:	Plantación muy densa de <i>Eucalyptus grandis</i> .
Observaciones:	A partir del horizonte Bt1 se observan fragmentos de arenisca de 2-5 cm blancos y rojizos.

5-0 cm O	Mantillo de hojas, corteza y ramas, descompuesto en su base.
0-12 cm A1	Gris muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/1.5) húmedo; franco arenosa; bloques sub angulares medios a pequeños, débiles; muy friables; raíces moderadas; mineral 1º: cuarzo; transición clara suave.
12-27 cm A2	Gris muy oscuro (10YR2.5/1) húmedo; franco arenosa; bloques sub angulares medios a pequeños, débiles; muy friables; raíces moderadas; mineral 1º: cuarzo; transición clara suave.
27-38 cm A3	Gris muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/1.5) húmedo; franco arenosa; bloques sub angulares medios, débiles; muy friables; raíces moderadas; mineral 1º: cuarzo; transición abrupta suave.
38-54 cm Bt	Negro (10YR2/1) húmedo; franco arcillo arenosa, pesada; bloques sub angulares muy gruesos, moderados; películas de arcilla, delgadas, discontinuas; muy firme; pocos a moderados poros tubulares; moderado contenido de raíces; mineral 1º: cuarzo; transición clara suave. Granos de arena lavados y cubiertos.

54-78 cm Bt2	Pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) húmedo; moteado pardo (7.5YR), común, medio, neto, abrupto, y moteado rojo (2.5YR), común, grande, sobresaliente, claros; arcillo arenoso; bloques prismáticos gruesos, moderados; películas de arcilla medias, continuas; muy firme; pocos poros tubulares; raíces finas moderadas; mineral 1º: cuarzo (F); transición suave. Se observan slickensides poco desarrollados.
78-102 cm Bt3-BC	Pardo rojizo (5YR4/4) húmedo; moteado rojo amarillento (5YR5/8), comunes, medios, tenue, difuso; franco arcillo arenoso; masiva a bloques sub angulares; muy compacto; películas en mancha, delgadas; muy firme; pocos poros tubulares; raíces finas moderadas; mineral 1º: cuarzo (F).

B. DESCRIPCIÓN DE PERFILES MODALES DE FYMNSA, RIVERA.

1. Perfil FYM1f.

Posición geodésica:	55°46'1322 longitud W; 31°5'869 latitud S; 128 m de altitud.
Forma de observación:	Calicata 2x1,5x1,5 m.
Geomorfología:	Colinas sedimentarias Tacuarembó
Geología:	Tacuarembó
Relieve local:	Ladera Sur
Pendiente:	8%
Drenaje natural:	Rápido
Uso actual de la tierra:	Forestal, <i>Pinus taeda</i> plantado en 1977.
0-20 cm. A1	Pardo claro (10YR6/3); moteado pardo oscuro (7.5YR3/2), en mancha; arenoso franco; grano simple; suelto; raíces abundantes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
20-41 cm. A2	Pardo oscuro (7.5YR2.5/2); moteado pardo oscuro (7.5YR3/2), en mancha; arenoso franco; bloques angulares medios, débiles; friable; raíces abundantes a comunes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
41-50 cm. A3	Pardo muy oscuro (10YR2/2); arenoso franco; bloques angulares medios, débiles; friable; raíces escasas; mineral 1° cuarzo; transición abrupta.
50-70 cm. 2C	Línea de piedra formada por areniscas.
70-125cm. 3A'	Pardo (7.5YR4/6); moteado rojo (2.5YR4/6), poco, difuso, medio; arenoso franco/franco arenoso; sin estructura; suelto a friable; pocas raíces; mineral 1° cuarzo; transición clara ondulante.
125+ cm. 3C	Roca madre, rojo (2.5YR4/8 y 2.5YR5/8) y amarillo rojizo (3.5YR5/8 y 5YR6/8).

Observaciones:

Entre el horizonte 70-125 cm y la roca madre, se observa en algunas partes, un horizonte más arcilloso, delgado; pardo (7.5YR4/4); arenoso arcilloso a arcillo arenoso, con películas pardas grisáceas muy oscuras (10YR3/2); bloques angulares.

2. Perfil FYM2f.

Posición geodésica:	55°45'38,8" longitud W; 31°04' 19,5" latitud S; 111 m de altitud.
Forma de observación:	Calicata 2x1,5x1,5 m.
Geomorfología:	Colinas sedimentarias Tacuarembó
Geología:	Tacuarembó
Relieve local:	Ladera media baja W
Pendiente:	8%
Drenaje natural:	Rápido
Uso actual de la tierra:	Forestal, <i>Pinus taeda</i> plantado en 1976.

0-19 cm A1	Gris rojizo (5YR5/2); depleciones de color; franco arcilloso; bloques angulares medios, débiles; friable; raíces abundantes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
19-33 cm A2	Pardo (7.5YR5/2); franco arcilloso pesado; bloques angulares gruesos, débiles a moderados; friable; raíces abundantes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
33-47 cm A3	Pardo oscuro (10YR3/3); franco arcillo pesado; bloques angulares gruesos, moderados; friable; raíces comunes; mineral 1° cuarzo; en la base aparecen gravillas comunes de areniscas sin alterar, de hasta 3 cm de diámetro; transición clara.
47-63 cm B1	Pardo amarillento (10YR5/4); pocos moteados; arcilloso liviano; bloques angulares medios, moderados a firmes; películas; firme, débilmente plástico; raíces comunes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
63-83 cm B2	Pardo muy claro (10YR7/3); moteados abundantes; arcilloso liviano; bloques angulares gruesos, fuertes; películas; firme; concreciones de Fe y Mn; pocas raíces; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
83-98 cm B3	Pardo amarillento claro (10YR6/4); moteados comunes; arcillo arenoso; bloques angulares gruesos, firmes; películas; firme; pocas raíces; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
98+ cm C	Pardo muy claro (10YR7/3); moteado comunes; arcillo arenoso; bloques angulares medios, planos, con estructura de roca; películas; duro; pocas raíces; mineral 1° cuarzo; transición clara.

3. Perfil FYM3p.

Posición geodésica:	55°45'39,7" longitud W; 31°04'18,2" latitud S; 111 m de altitud.
Forma de observación:	Calicata 2x1,5x1,5
Geomorfología:	Colinas sedimentarias Tacuarembó
Geología:	Tacuarembó
Relieve local:	Ladera media baja W
Pendiente:	7-8%
Drenaje natural:	Rápido
Uso actual de la tierra:	Pradera.
0-25 cm A1	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) húmedo, depleciones de color gris; franco arenoso; bloques angulares pequeños, débiles; friable; raíces abundantes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
25-46 cm A2	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3.5/2) húmedo; franco arenoso; bloques angulares medios, débiles; friable; raíces abundantes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
46-73 cm E	Pardo oscuro (10YR3.5/3) húmedo; moteado común, pardo amarillento (10YR5/4) y pardo muy oscuro (10YR2/2), neto, difuso; franco; bloques angulares medios, débiles; friable; raíces abundantes; mineral 1° cuarzo; transición clara.
73-93 cm B1	Pardo amarillento oscuro (10YR4/4) húmedo; moteado común, pardo amarillento (10YR5/4) y pardo muy oscuro (10YR2/2); arenoso arcilloso; bloques angulares medios débiles; películas débiles, pardo amarillento oscuro (10YR 4.5/4); friable; raíces comunes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
93-108 cm B2	Pardo amarillento oscuro (10YR4/4) húmedo; moteado rojo (2.5YR4/6) húmedo; arcilloso; bloques angulares medios, moderados; firme; pocas raíces; mineral 1° cuarzo; transición clara.
108+ cm B3	Gris rosáceo (7.5YR7/2); arcilloso; bloques angulares medios, fractura coloidal; mineral 1° cuarzo.

4. Perfil FYM4p.

Posición geodésica:	55°45'43,9" longitud W; 31°4'25,7" latitud S; 210 m de altitud.
Forma de observación:	Calicata 2x1,5x1,5.
Geomorfología:	Colinas sedimentarias Tacuarembó
Geología:	Tacuarembó
Relieve local:	Ladera media baja W
Pendiente:	5%
Drenaje natural:	Rápido
Uso actual de la tierra:	Pradera para pastoreo, con una cortina de eucaliptos a 30 m.

0-15 cm A1	Pardo rojizo oscuro (2.5YR2.5/3), depleciones rojas (2.5YR5/8); franco arenoso liviano; bloques angulares pequeños a medios; friable; raíces abundantes; mineral 1° cuarzo; transición difusa.
15-40 cm A2	Rojo (5YR3/3), depleciones rojo amarillento (5YR5/8); franco franco arenoso; bloques angulares pequeños; friable; abundantes raíces; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
40-68 cm A3	Pardo rojizo oscuro (2.5YR2.5/4); franco pesado a franco arcilloso; bloques angulares medios a grandes, débiles; friable; raíces abundantes a comunes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
68-87 cm B1	Pardo rojizo oscuro (2.5YR3/4); arcillo arenoso; bloques angulares medios a pequeños, débiles; películas en manchas discontinuas, pardo rojizo oscuro (2.5YR2.5/3); pedotúbulos de materia orgánica; raíces comunes; mineral 1° cuarzo; en la base se observan algunos cantos de hasta 5 cm; transición clara.
87-114 cm B2	Pardo rojizo oscuro (2.5YR3/3); arcilloso a arcillo arenoso; bloques angulares débiles; revestimientos pocos, delgados, granos de arena, pardo rojizo oscuro (2.5YR ³ / ₄); friable; concreciones Fe y Mn comunes; pequeñas; pocas raíces; mineral 1° cuarzo; pocas gravillas de 2 a 3 cm; transición gradual.
+114 cm B3	Rojo (2.5YR4/8); arcilloso; bloques angulares medios, débiles; películas en manchas discontinuas, delgadas, pardo rojizo oscuro (2.5YR ³ / ₄); friable; pocas concreciones de Fe y Mn; pocas raíces; mineral 1° cuarzo.

5. Perfil FYM5f.

Posición geodésica:	55°45'44,1" longitud W; 31°04'24,3" latitud S.
Forma de observación:	Calicata 2x1,5x1,5.
Geomorfología:	Colinas sedimentarias Tacuarembó
Geología:	Tacuarembó
Relieve local:	Colina, ladera media W
Pendiente:	7%
Drenaje natural:	Rápido
Uso actual de la tierra:	Rodal de <i>Pinus taeda</i> plantado en 1976.

0-10 cm A1	Pardo (7.5YR5/2); depleciones; arenoso franco; bloques angulares y sub angulares; friable; raíces abundantes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
10-39 cm A2	Pardo amarillento oscuro (10YR4/4); depleciones; arenoso franco pesado; bloques angulares grandes, moderados a débiles; friable; raíces abundantes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
39-61 cm A3	Pardo oscuro (7.5YR4/4); moteados; franco arcilloso pesado; bloques angulares muy grandes, moderados a débiles; friable; raíces abundantes; mineral 1° cuarzo.
61-82 cm B1	Pardo fuerte (7.5YR5/8); moteados aumentando hacia la base; franco arcilloso arenoso; bloques angulares muy grandes, moderados a débiles; películas delgadas, discontinuas, en mancha, de color más gris que la matriz; débilmente plástico; concreciones de Fe y Mn; raíces comunes; mineral 1° cuarzo; transición gradual.
82-110 cm B2	Rojo amarillento (5YR5/8); moteado abundante; arcilloso; bloques angulares medios, moderados a débiles; películas delgadas, discontinuas, en mancha, de color más gris que la matriz; débilmente plástico; concreciones de Fe y Mn; raíces comunes; mineral 1° cuarzo; en la base aparece una línea de nódulos endurecidos y roca (fragmentos de arenisca); transición clara.
110+ cm B3	Amarillo rojizo (5YR6/8); arcillo arenoso; bloques angulares y sub-angulares medias, débiles; débilmente plástico; concreciones de Fe y Mn; mineral 1° cuarzo.

C. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN PERFIL DE PASO ATAQUES, RIVERA.

Datos del estudio de un suelo estudiado realizado en 1997 en la localidad de Paso Ataques por la Facultad de Agronomía, la Dirección de Suelos del MGAP y el Centro de Investigaciones de Suelos del Depto. de Agricultura de los EE.UU.

1. Propiedades físicas.

Análisis mecánico						Retención de agua	
Prof. (cm)	Hz.	Arcilla	Limo %	Arena	D.ap. g.cc ⁻¹	Succión en bar	
						1/3	15
						--- % de agua ---	
0-15	A1	6,6	8,5	84,9	1,65	7,6	2,7
15-45	A2	14,3	10,6	75,1	1,63	10,9	4,8
45-71	A3	21,4	10,6	68,0	1,56	15,9	7,4
72-92	Bt1	36,7	10,2	53,1	1,56	19,5	13,2
92-116	Bt2	39,9	10,2	49,9	1,66	20,1	14,2
116-150	Bt3	32,3	11,2	56,5	1,65	18,2	11,8
150-200	Bt4	29,2	11,5	59,3	1,49	17,2	10,3

2. Propiedades químicas

Espesor	Hz.	C org.	N total	Fe	Ca	Mg	Na	K	Al	CIC pH 7	pH H2O
cm		----- % -----			----- meq/100 g -----						
0-15	A1	0,8	0,08	0,5	0,9	0,5	0,1	0,2	0,2	3,2	5,0
15-45	A2	0,5	0,05	0,9	0,8	0,3	0,1	0,2	0,9	4,6	4,9
45-71	A3	0,5	0,07	1,2	1,6	0,5	0,1	0,3	0,8	6,2	5,0
72-92	Bt1	0,7	0,10	1,9	2,4	0,9	0,1	0,2	2,0	10,0	4,9
92-116	Bt2	0,6	0,09	2,0	2,0	0,9	0,1	0,2	2,7	10,2	4,9
116-150	Bt3	0,3		1,8	1,6	0,8	0,1	0,1	2,2	8,0	4,9
150-200	Bt4	0,0		1,6	1,5	1,0	0,1	0,1	1,5	7,2	5,2