UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CAMBIOS EN PROPIEDAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS DE LA UNIDAD RIVERA AL PASAR DE USO PASTORIL A FORESTAL CON *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) Y *Pinus taeda* L.

por

Milton CABRERA GALLO
Adrián CAL ÁLVAREZ

TESIS presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2007

Tesis aprobada por:

Directores: _____
Álvaro Califra

_____
Fernando García Prechác

_____
Jorge Hernández

Fecha: _____

Autores: _____
Milton Cabrera Gallo

_____
Adrián Tabaré Cal Álvarez

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las empresas COFUSA y FYMNSA, por proporcionar los sitios de muestreo de eucaliptos y de pinos respectivamente, a nuestro director de tesis Ing. Agr. (M. Sc.) Jorge Hernández, a la Ing. Agr. Silvana Delgado quien nos proporcionó gran ayuda para el trabajo, a la laboratorista Leticia Martínez, a todo el Departamento de Suelos y Aguas de Facultad de Agronomía, y a nuestras familias por todo el apoyo que nos brindaron durante la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

Página

PÁGINA DE APROBACIÓN.....II
AGRADECIMIENTOS.....III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....VI

1. INTRODUCCIÓN.....1

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....3
2.1. REQUERIMIENTO DE BASES DE INTERCAMBIO (Ca, Mg, K, y Na) EN EUCALIPTOS Y PINOS.....3
2.1.1. Eucaliptos.....3
2.1.2. Pinos.....10
2.2. SUELOS DE APTITUD FORESTAL.....14
2.2.1. Grupos de suelos CO.N.E.A.T.....15
2.2.2. Suelos del Orden Desaturados Lixiviados.....15
2.3. CAMBIOS EN PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO AL PASAR DE USO PASTORIL A FORESTAL.....18
2.3.1. Propiedades químicas.....18
2.3.1.1. pH y acidez intercambiable (Al).....18
2.3.1.2. Bases de intercambio (Ca, Mg, K, y Na), bases totales (BT), capacidad de intercambio catiónico (CIC), y porcentaje de saturación en bases (%SB).....23
2.3.1.3. Carbono orgánico.....25
2.3.2. Propiedades físicas.....28

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....31
3.1. ÁREAS DE ESTUDIO Y MUESTREO.....31
3.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....31
3.2.1. Propiedades químicas.....31
3.2.2. Propiedades físicas.....32
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....34

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....36
4.1. SUELOS ESTUDIADOS.....36
4.2. PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis* PARA ASERRADO VS. USO PASTORIL.....36
4.2.1. Propiedades químicas.....36
4.2.1.1. Acidez del suelo: pH (en H_2O y KCl) y acidez intercambiable (Al).....37

4.2.1.2. Contenido de bases de intercambio: bases totales, Ca, Mg, K, y Na. 42
4.2.1.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC). 44
4.2.1.4. Porcentaje de saturación en bases..... 46
4.2.1.5. Carbono orgánico. 47
4.2.2. Propiedades físicas. 51
4.2.2.1. Densidad aparente. 53
4.2.2.2. Porosidad total y macroporosidad. 53
4.2.2.3. Retención de agua..... 55
4.2.2.4. Conductividad hidráulica..... 56
4.3. PLANTACIONES DE *Pinus taeda* PARA ASERRADO VS. USO PASTORIL. 58
4.3.1. Propiedades químicas. 58
4.3.1.1. Acidez del suelo: pH (en H_2O y KCl) y acidez intercambiable (Al). 59
4.3.1.2. Contenido de bases de intercambio: bases totales, Ca, Mg, K, y Na. 64
4.3.1.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC). 67
4.3.1.4. Porcentaje de saturación en bases..... 70
4.3.1.5. Carbono orgánico. 72
4.3.2. Propiedades físicas. 75
4.3.2.1. Densidad aparente. 77
4.3.2.2. Porosidad total y macroporosidad. 77
4.3.2.3. Retención de agua..... 79
4.3.2.4. Conductividad hidráulica..... 80

5. CONCLUSIONES. 82
5.1. CONCLUSIONES PARTICULARES. 82
5.1.1. *Eucalyptus grandis.* 82
5.1.2. *Pinus taeda.* 84
5.2. CONCLUSIONES GENERALES. 86

6. RESUMEN. 89

7. SUMMARY. 90

8. BIBLIOGRAFÍA. 91

9. ANEXOS. 96

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No. Página

1. Deposición anual de mantillo (Mg ha-1) y bases (kg ha-1) en el mantillo de distintas plantaciones de *E. grandis*..... 5

2. Remoción de nutrientes (kg ha^{-1}) por los distintos compartimientos vegetales de una plantación de *E. grandis* de 14 años de edad en un suelo arenoso rojizo profundo en el NE de Entre Ríos-Argentina..... 5

3. Remoción de nutrientes (kg ha^{-1}) por los distintos compartimientos vegetales de una plantación de *E. grandis* de 14 años de edad en un suelo arenoso pardo mestizo en el NE de Entre Ríos-Argentina..... 6

4. Remoción de nutrientes (kg ha^{-1}) por los distintos compartimientos vegetales de una plantación de *E. grandis* de 14 años de edad en un suelo arcilloso en el NE de Entre Ríos-Argentina..... 6

5. Biomasa (Mg ha^{-1}) y contenido de nutrientes (kg ha^{-1}) en distintos compartimientos de una plantación de *E. grandis* de 5 años de edad en un suelo arenoso. 7

6. Biomasa (Mg ha^{-1}) y contenido de nutrientes (kg ha^{-1}) en distintos compartimientos de una plantación de *E. grandis* de 8 años de edad en un suelo arenoso. 7

7. Valores óptimos foliares de K, Ca, y Mg hallados en Sudáfrica y valores encontrados en distintos sitios de Entre Ríos. 8

8. Rendimiento medio y cantidad de nutrientes extraídos por algunos cultivos agrícolas en Brasil. 9

9. Producción de materia seca y contenido de nutrientes en el tronco (madera + corteza) a diferentes edades y densidades para *E. grandis*..... 9

10. Cantidad total de nutrientes extraídos por una plantación de *E. grandis* de 7 años y un volumen real de madera con corteza de 355 m^3 ha^{-1} en Brasil..... 10

11. Tasas de extracción de nutrientes (kg ha^{-1} $año^{-1}$) en sitios naturales de pino. 11

12. Acumulación de nutrientes (kg ha^{-1}) en la biomasa aérea de distintas especies de pino 12

13. Concentración de nutrientes (mg g^{-1}) en fustes de *Pinus radiata* de 12 a 29 años de edad en sitios naturales. 12

14. Extracción de K, Ca, y Mg en componentes cosechados de *P. elliottii*, y algunos cultivos agrícolas. 12

15. Regreso de nutrientes a la cubierta forestal como caída de biomasa y escurrimiento por el tronco en una plantación de *P. taeda.* 13

16. Contenido de nutrientes de la cubierta forestal de una plantación de *P. taeda* durante los primeros 20 años a intervalos de 5 años. 13

17. Clases de conductividad hidráulica (K) en flujo saturado. 30

18. Propiedades químicas para el promedio de los cuatro sitios de *E. grandis* vs. campo natural según horizonte y uso, y significación estadística entre usos e interacción uso por sitio, según horizonte. 37

19. Probabilidades del valor de F para la interacción uso por horizonte de los sitios de *E. grandis* vs. campo natural. 37

20. Propiedades físicas para el promedio de los sitios 1, 2, y 4 de *E. grandis* vs. campo natural según horizonte y uso, significación estadística entre usos e interacción uso por sitio, según horizonte. 52

21. Coeficientes de variación (%) promedios de conductividad hidráulica para las distintas profundidades evaluadas para los sitios de *E. grandis* vs. campo natural. 57

22. Propiedades químicas para el promedio de los cinco sitios de *P. taeda* vs. campo natural según horizonte y uso, y significación estadística entre usos e interacción uso por sitio, según horizonte. 58

23. Probabilidades del valor de F para la interacción uso por horizonte de los sitios de *P. taeda* vs. campo natural. 59

24. Propiedades físicas para el promedio de los sitios 1, 4, y 5 de *P. taeda* vs. campo natural según horizonte y uso, y valores estadísticos entre usos y de interacción uso por sitio, según horizonte. 76

25. Coeficientes de variación (%) promedios para conductividad hidráulica para las distintas profundidades evaluadas para los sitios de *P. taeda* vs. campo natural. 81

Figura No.

1. pH al agua en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*. 39

2. pH al KCl en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*. 40

3. Contenido de Al en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*. 41

4. Contenido de bases totales en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*. 43

5. Capacidad de intercambio catiónico en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*. 45

6. Porcentaje de saturación en bases en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*. 47

7. Porcentaje de carbono orgánico en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*. 49

8. Relación entre el contenido de carbono orgánico y la CIC para los horizontes A y B de todos los sitios de *E. grandis* vs. campo natural. 50

9. Curvas de retención de agua para el promedio de los sitios 1, 2, y 4 de *E. grandis* vs. campo natural a las profundidades de 5-10 cm del horizonte A y parte superior del horizonte Bt. 55

10. pH al agua en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*. 61

11. pH al KCl en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*. 62

12. Contenido de Al en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*. 63

13. Bases totales en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*. 66

14. CIC en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*. 69

15. Saturación en bases en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*. 71

16. Carbono orgánico en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*. 73

17. Relación entre el contenido de carbono orgánico y la CIC para los horizontes A y B de todos los sitios de *P. taeda* vs. campo natural. 74

18. Curvas de retención de agua para el promedio de los sitios 1, 4, y 5 de *P. taeda* vs. campo natural a las profundidades de 5-10 cm del horizonte A y parte superior del horizonte Bt. 79

1. INTRODUCCIÓN.

El cultivo de especies de rápido crecimiento, principalmente de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*, se ha extendido en nuestro territorio desde que se promulgó la ley de promoción forestal 15.939 en el año 1987. En la actualidad estos géneros ocupan extensas áreas con distintas características edafo-climáticas en el Uruguay, concentrados en las zonas clasificadas como de prioridad forestal (según cartografía CO.N.E.A.T.).

Dada la expansión del rubro, han surgido por parte de las propias empresas forestales, instituciones de investigación, y el Estado, diferentes inquietudes vinculadas principalmente con temas relacionados al agua y el suelo, y sobre el futuro de ambos bajo un régimen de explotación forestal.

La cuantificación de los contenidos de nutrientes en los suelos forestados, así como de otras propiedades químicas y físicas del suelo, son importantes no sólo en la definición de estrategias con vistas a mantener la sustentabilidad del ecosistema, sino también para escoger las medidas de manejo a seguir.

En suelos con pobres condiciones para la producción, la exportación de elevadas cantidades de nutrientes por los árboles a lo largo de continuadas rotaciones puede conducir a la reducción de la capacidad productiva del sitio. Por esta razón se presenta la necesidad de entender mejor el potencial productivo de cada uno y los cambios que estos sufren al sustituir su vegetación original por plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento, como pinos y eucaliptos, luego de varios años.

El introducir forestación sobre un suelo de pradera, o cualquier otro tipo de vegetación originaria, se puede catalogar como un factor de transformación profunda del suelo, e inicio de un nuevo ciclo en su desarrollo, que afecta de manera diferente la génesis del mismo. Habrá cambios en los procesos de formación y propiedades del suelo, provocados por desarrollo radicular, formación de mantillo de hojarasca y otros restos de biomasa, disponibilidad de nutrientes, y probablemente cambios en el ciclo del agua, pH, y otras propiedades químicas y físicas, al producirse un nuevo ciclo en el desarrollo del suelo, hasta un nuevo equilibrio. El tiempo que esto demande, dependerá del material generador, de las condiciones climáticas, de los nuevos organismos vivos, la topografía, y los factores “no naturales” que implica realizar

esta actividad (caminos, cortafuegos, vías de saca, y demás), que interactuando serán los nuevos factores de formación del suelo. Del conocimiento que se genere, depende el adecuar el manejo de estos factores no naturales, para minimizar posibles efectos negativos.

En el presente trabajo se midieron propiedades físicas y químicas en sitios con suelos que originalmente tenían vegetación de pasturas, y en los que hubo un cambio de uso de la tierra hacia forestación con plantaciones de *Eucalyptus grandis* y de *Pinus taeda*, y se compararon los resultados contra sitios con los mismos tipos de suelos pero que todavía cuentan con vegetación de pasturas.

Con esto los objetivos perseguidos fueron:

- Comprobar si el cambio de uso de la tierra de pasturas a forestación con *Eucalyptus grandis* y *Pinus taeda*, tiene efectos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

- Determinar que propiedades se ven más afectadas.

- Cuantificar las magnitudes de esos cambios en los casos que los hubiera.

- Determinar cual de las especies estudiadas tiene mayor impacto sobre el suelo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. REQUERIMIENTO DE BASES DE INTERCAMBIO (Ca, Mg, K, y Na) EN EUCALIPTOS Y PINOS.

2.1.1. Eucaliptos.

Eucalyptus grandis Hill (ex Maiden): gran árbol de tronco recto y muy buen desrame natural, y follaje de textura media a gruesa. Corteza caduca en fajas largas con la porción basal persistente (1 a 3 m de altura) y escamosa. Naturalmente se localiza en el este del continente australiano, entre los 16º y 33º de latitud sur, en altitudes de entre 500 y 1000 m, en climas templados (sur) hasta tropicales (norte), con un promedio de temperaturas máximas de 24 – 30 ℃ (sur) y 29 – 32 ℃ (norte), mínimas de 3 – 8 ℃ (sur) y 7 – 10 ℃ (norte), con heladas escasas en localizaciones alejadas de la costa, húmedo, y con precipitaciones estivales de 1000 a 3500 mm anuales en promedio (Johnston et al., FAO, Boland et al., citados por Brussa, 1994).

Prefiere suelos con buena capacidad de retención de agua, profundos, de texturas limosas, y bien drenados (Kelly et al., Boland et al., Golfari, citados por Brussa, 1994).

Actualmente se trata de uno de los cultivos más empleados en forestaciones comerciales, por su conformación y velocidad de crecimiento, la que puede verse sensiblemente disminuida en suelos poco desarrollados y con drenaje imperfecto (Brussa, 1994).

Las plantaciones forestales de eucaliptos demandan alta cantidad de nutrientes, porque la duración de las rotaciones son cortas y las cantidades de madera extraída son altas, todo ello a pesar de que en la madera la concentración de nutrientes es menor que en otros tejidos vegetales (Martino et al., 1997).

En Uruguay las plantaciones forestales son fertilizadas en el momento de la implantación, pero los fertilizantes usados son ricos en fósforo (P) y pobres en potasio (K), por lo que existe una alta dependencia del suministro de calcio

(Ca), magnesio (Mg), y K del suelo. Este problema se puede agravar si se retira del campo la corteza rica en Ca y K, ocasionando deficiencias a largo plazo (Martino et al., 1997). El Ca es un elemento crítico en las plantaciones (Turner et al., citados por Martino et al., 1997).

Una plantación de *E. grandis* en Brasil con una productividad de 290 m^3 ha^{-1} de madera sin corteza contenía en la madera 113 kg ha^{-1} de K, y 47 kg ha^{-1} de Ca, mientras que en la corteza tenia 59 kg ha^{-1} de K y 77 kg ha^{-1} de Ca (Gonçalvez, citado por Martino et al., 1997).

La cantidad de nutrientes absorbidos anualmente disminuye con la edad de las plantaciones (Lima, citado por Martino et al., 1997), pero con rotaciones cortas de 7-8 años de edad las cantidades extraídas son altas, lo que podría ocasionar problemas de deficiencias en el mediano plazo, esto es necesario tenerlo en cuenta para determinar el largo de las rotaciones (Martino et al., 1997).

Para mantener las reservas de minerales a largo plazo, es necesario que exista un reciclaje de nutrientes a partir de componentes de la biomasa ricos en Ca y Mg, como ramas, hojas, y corteza (Judd, citado por Martino et al., 1997).

Kolm y Poggiani (2003) estudiaron los valores anuales de deposición de mantillo y sus respectivas cantidades de nutrientes en los primeros 20 cm de un suelo de baja fertilidad en Brasil para una plantación de 20 años con distintas intensidades de raleo, y los compararon con una plantación de 27 años de otro estudio; y observaron que la transferencia anual de nutrientes desde el mantillo ocurre en el orden: Ca>Mg>K, como se ve en el cuadro 1.

Cuadro 1. Deposición anual de mantillo (Mg ha-1) y bases (kg ha-1) en el mantillo de distintas plantaciones de *E. grandis*.

Edad	Mantillo	K	Ca	Mg
años	Mg ha^{-1}	kg ha^{-1}		
20	10,22	18,02	78,39	22,24
20	10,87	23,84	82,52	25,94
20	10,39	27,36	77,63	27,54
27*	9,60	14,94	64,16	18,68

* Estos datos corresponden a otro autor.

Fuente: modificado a partir de Kolm y Poggiani (2003).

Las plantaciones jóvenes retienen la mayor parte de los nutrientes en sus tejidos, y la mayor acumulación se da hasta los 7 años de edad para *E. grandis* (Jurado Bellote et al., citados por Goya et al., 1997). Cuando especies de rápido crecimiento son manejadas en rotaciones de corta duración no se permite que alcancen un estado maduro de equilibrio en donde maximizan la conservación de nutrientes y por lo tanto la extracción alcanza magnitudes importantes, de esta manera las especies forestales así manejadas tienen efectos sobre los nutrientes y la productividad del sitio similares a los de cultivos agrícolas (Attiwiil et al., citados por Goya et al., 1997).

La remoción de nutrientes varía según el tipo de suelo sobre el cual se encuentra una plantación. En los cuadros 2, 3, y 4, se presenta información de un estudio hecho en el NE de la Provincia de Entre Ríos-Argentina en tres plantaciones de 14 años de edad de *E. grandis*, con una densidad de 947, 871, y 782 árboles ha^{-1} al momento de la cosecha, ubicadas respectivamente en un suelo arenoso rojizo profundo (Oxic Quartzipsamment), un arenoso pardo mestizo (Fluventic Haplumbrept), y un arcilloso (Vertic Argiacuol), y con volúmenes de madera de, 418,30, 721,00, y 417,30 m^3 ha^{-1} respectivamente (Goya et al., 1997).

Cuadro 2. Remoción de nutrientes (kg ha^{-1}) por los distintos compartimientos vegetales de una plantación de *E. grandis* de 14 años de edad en un suelo arenoso rojizo profundo en el NE de Entre Ríos-Argentina.

Compartimiento	Kg ha^{-1}		
	K	Ca	Mg
Fuste sin corteza	74,6	174,8	19,6
Corteza del fuste	67,7	397,9	25,6
Copa*	72,7	134,4	26,2
Total	215,0	707,1	71,4

*Copa: hojas+frutos+ramas+corteza

Fuente: modificado a partir de Goya et al. (1997).

Cuadro 3. Remoción de nutrientes (kg ha^{-1}) por los distintos compartimientos vegetales de una plantación de *E. grandis* de 14 años de edad en un suelo arenoso pardo mestizo en el NE de Entre Ríos-Argentina.

Compartimiento	Kg ha^{-1}		
	K	Ca	Mg
Fuste sin corteza	106,1	247,8	23,9
Corteza del fuste	111,5	699,7	47,7
Copa*	90,8	162,1	36,6
Total	308,4	1109,6	108,2

*Copa: hojas+frutos+ramas+corteza

Fuente: modificado a partir de Goya et al. (1997).

Cuadro 4. Remoción de nutrientes (kg ha^{-1}) por los distintos compartimientos vegetales de una plantación de *E. grandis* de 14 años de edad en un suelo arcilloso en el NE de Entre Ríos-Argentina.

Compartimiento	Kg ha^{-1}		
	K	Ca	Mg
Fuste sin corteza	107,7	99,4	15,7
Corteza del fuste	85,7	857,5	31,9
Copa*	13,9	85,3	124,1
Total	207,3	1042,2	171,7

*Copa: hojas+frutos+ramas+corteza

Fuente: modificado a partir de Goya et al. (1997).

A partir de la información presentada en los cuadros 2, 3, y 4, se ve claramente que el Ca tiene mayor demanda que K y Mg, a su vez dentro del árbol la mayor parte de este se encuentra en la corteza, confirmando así lo dicho por otros autores en cuanto a la necesidad de no remover la misma del campo para no generar deficiencias en el mediano y largo plazo.

El tipo de suelo no es el único factor determinante de la remoción de nutrientes, la edad a la cual se realiza la cosecha es otro factor a tener en cuenta, y la misma afecta también la distribución de nutrientes dentro de los compartimientos del árbol (hojas, ramas, fuste sin corteza, y corteza). A continuación en los cuadros 5 y 6, se presentan los resultados del estudio de Goya et al. (1997) en donde se ve la biomasa, y las cantidades extraídas de nutrientes de los diferentes compartimientos, para dos plantaciones de *E. grandis de* 5 y 8 años de edad en un suelo arenoso.

Cuadro 5. Biomasa (Mg ha^{-1}) y contenido de nutrientes (kg ha^{-1}) en distintos compartimientos de una plantación de *E. grandis* de 5 años de edad en un suelo arenoso.

Compartimiento	Biomasa (Mg ha^{-1})	kg ha^{-1}		
		K	Ca	Mg
Hojas	8,1	53,6	112,6	15,6
Ramas	8,4	15,7	25,3	3,9
Fuste sin corteza	71,5	13,6	150,2	10,7
Corteza	7,2	45,1	183,8	13,1
Total	95,2	128,0	471,9	43,2

Fuente: modificado a partir de Goya et al. (1997).

Cuadro 6. Biomasa (Mg ha^{-1}) y contenido de nutrientes (kg ha^{-1}) en distintos compartimientos de una plantación de *E. grandis* de 8 años de edad en un suelo arenoso.

Compartimiento	Biomasa (Mg ha^{-1})	kg ha^{-1}		
		K	Ca	Mg
Hojas	4,2	29,5	60,7	11,1
Ramas	10,6	23,0	53,9	9,1
Fuste sin corteza	117,5	112,7	112,8	19,1
Corteza	9,4	49,8	206,7	13,6
Total	141,7	215,0	434,1	52,9

Fuente: modificado a partir de Goya et al. (1997).

De los cuadros 5 y 6, se extrae que luego de tres años existe una redistribución de Ca hacia otros compartimentos de la planta, K aumenta su cantidad total, y Mg aumenta en menor grado.

Goya et al. (1997) compararon los valores foliares de los principales nutrientes de los sitios estudiados en Entre Ríos, con los valores foliares óptimos determinados en Sudáfrica a partir de estudios con relación a elevadas tasas de crecimiento, y concluyeron que las deficiencias nutricionales no serian una limitante para el crecimiento de plantaciones de primera rotación al menos en esos suelos. El cuadro 7 resume dicha información.

Cuadro 7. Valores óptimos foliares de K, Ca, y Mg hallados en Sudáfrica y valores encontrados en distintos sitios de Entre Ríos.

Nutriente o relación	Optimo	Sitio arenoso	Sitio mestizo	Sitio arcilloso
K (mg g^{-1})	7,0	7,90	7,30	8,40
Ca (mg g^{-1})	>10	14,40	11,80	12,00
Mg (mg g^{-1})	3,0	3,30	2,70	2,30
Ca/Mg	>3,3	4,40	4,40	5,20

Fuente: modificado a partir de Goya et al. (1997).

En nueve plantaciones de *Eucalyptus globulus* en España entre 6 y 18 años de edad se determinó que en la biomasa aérea de plantaciones de turno final las cantidades de K, Ca, y Mg, eran mayores a las cantidades disponibles en el suelo, y que los restos de corta (corteza, ramas, y hojas) representaban el 25% de la biomasa total, pero acumulaban más de la mitad de K, Ca, y Mg absorbidos durante el turno. También encontraron que el horizonte orgánico del suelo en plantaciones maduras constituye un reservorio de nutrientes limitantes como Ca y Mg, ya que las cantidades encontradas fueron superiores a las de horizontes minerales (Brañas et al., 2000).

Del total de la biomasa aérea de las plantaciones estudiadas por Brañas et al. (2000), la madera es la fracción que cuenta con la menor concentración de nutrientes (excepto carbono), en la fracción foliar se encuentran los mayores niveles de concentración de K, mientras que en la corteza se registra la mayor concentración de Ca y Mg; este mismo patrón se observa en otras especies de eucaliptos. La madera representa un 73% del peso seco del árbol, acumula casi la mitad de K de la biomasa aérea, y de 20 a 30% de Ca y Mg. Mientras que la corteza siendo un 11% de la biomasa aérea, acumula el 50% de Ca y Mg, y 20% de K. Las hojas siendo un 6% de la biomasa, acumulan un 20% de Ca, K, y Mg.

Las plantaciones de turno final acumulan mayores cantidades de K y Ca, que las que se encuentran disponibles en los suelos; a su vez las cantidades extraídas no logran ser repuestas por lluvia y alteración de minerales, especialmente de Ca. El Mg es un elemento que se encuentran en cantidades iguales, tanto en el suelo, como en la biomasa aérea (Brañas et al., 2000).

Los restos de corta (corteza, ramas, y hojas) acumulan la mayor parte del Ca y Mg de la biomasa aérea, y buena parte del K. Las cantidades presentes en

esta fracción son iguales o superiores a las disponibles en el suelo. Del total de Ca y Mg presentes en el suelo, una parte importante se encuentra en el horizonte orgánico, siendo un 20 y 21% respectivamente del sistema (suelo+biomasa arbórea) (Brañas et al., 2000).

A continuación se presenta información extraída y modificada a partir de un estudio realizado por de Moraes Gonçalvez (1988), en el cual se estudió entre otras cosas la demanda de nutrientes por parte de algunos cultivos agrícolas.

Cuadro 8. Rendimiento medio y cantidad de nutrientes extraídos por algunos cultivos agrícolas en Brasil.

Cultivo	Rendimiento medio	K	Ca	Mg
	kg ha^{-1} $año^{-1}$			
Arroz	1.684	18,5	3,4	1,7
Maiz	1.735	69,4	10,4	13,9
Porotos	492	45,8	26,6	8,9
Naranjas	1.667	25,0	8,3	2,7
Papa	12.594	125,9	25,2	12,6

Fuente: modificado a partir de de Moraes Gonçalvez (1988).

Cuadro 9. Producción de materia seca y contenido de nutrientes en el tronco (madera + corteza) a diferentes edades y densidades para *E. grandis*.

Densidad (árboles ha^{-1})	Edad (años)	Producción de materia seca (tronco)*	Inmovilización de nutrientes por el tronco		
			K	Ca	Mg
			kg ha^{-1} $año^{-1}$		
1.667	3,5	9.860	2,8	9,0	2,0
5.000	3,5	19.891	3,9	12,6	2,7
1.111	10,0	18.360	16,8	33,6	10,0

* Se desconoce la unidad

Fuente: modificado a partir de de Moraes Gonçalvez (1988).

A partir de los cuadros 8 y 9, se ve que la remoción de K por parte de *E. grandis* no es mayor a la de los cultivos presentados, cualquiera sea la edad de la plantación forestal y la densidad de la misma; con respecto a Ca para plantaciones de 10 años, las cantidades extraídas son mayores a la de los cultivos, pero no así para plantaciones de 3,5 años en el que sólo superan las cantidades demandadas por arroz y naranjas; y para el Mg las cantidades extraídas por plantaciones de 10 años son similares a las extraídas por los cultivos, con la excepción del arroz y naranjas, mientras que en plantaciones de

3,5 años las cantidades extraídas son similares a las de cultivos como arroz y naranjas, pero inferiores a las del resto.

En un trabajo realizado por Jurado Bellote et al. (1980) se determinó que el Ca es el nutriente más extraído, seguido en orden decreciente por el K y Mg. La información se resume en el cuadro 10.

Cuadro 10. Cantidad total de nutrientes extraídos por una plantación de *E. grandis* de 7 años y un volumen real de madera con corteza de 355 m^3 ha^{-1} en Brasil.

Nutriente	Extracción total	
	g $árbol^{-1}$	Kg ha^{-1}*
Ca	448,08	672,12
K	218,61	327,92
Mg	92,03	138,04

*Calculado a partir de una densidad de 1500 plantas ha^{-1}

Fuente: modificado a partir de Jurado Bellote et al. (1980).

También Haag et al. en Brasil y Lubrano en Italia, citados por Jurado Bellote et al. (1980), observaron que de las bases, el Ca era el elemento más extraído y el Mg el menos extraído. Estos autores también observaron que para estos nutrientes hubo una acumulación creciente en la planta a medida que aumentaba la edad.

2.1.2. Pinos.

Pinus taeda L.: es un árbol de gran porte, alto y derecho, en masas naturales alcanza aproximadamente los 50 metros de altura, con un diámetro de hasta un 1,8 m. Copa piramidal con ramas inclinadas hacia abajo, posee corteza de color castaño rojiza a canela profundamente surcada con placas oblongas, chatas, gruesas, fuertemente apretadas con un espesor de 1,5 a 2,5 cm. Hojas delgadas, flexibles, de color verde claro, algo glaucas, de 15 a 25 cm de largo, agrupadas en hacecillos de 2 a 3 acículas, con vaina persistente. Conos sésiles, en número de 2 a 4, oblongos a cilíndrico – ovoides, de color rojizo claro, con escamas fructíferas delgadas y umbón provisto de espina. Semilla alada muy desarrollada, de forma romboidal, de 2,5 cm de largo; presenta tegumento castaño oscuro a veces con manchas negras (Cozzo, 1976).

En su área de distribución natural en EE.UU., *P. taeda* se desarrolla desde el nivel del mar hasta elevaciones de 610 m, con precipitaciones anuales que oscilan entre 1.000 y 1.500 mm, y temperaturas entre -23 y 38° C (Koch, 1972).

Es entre las especies de su género introducidas en Uruguay, una de las más promisorias en cuanto a adaptación a las condiciones ambientales del país. Así lo indicaban los crecimientos observados en cierta diversidad de sitios, su vigor, y su estado sanitario en condiciones adecuadas de tratamiento silvícola (Krall, 1970).

Plantaciones manejadas en rotaciones cortas son las mayores demandantes de nutrientes y causan grandes pérdidas en sitios cosechados (Ericsson, 1994).

Según Pritchett (1986) en una cosecha de una plantación de *P. taeda* de 16 años se extraen por hectárea 89 kg de K, 112 kg de Ca, y 29 kg de Mg.

Una plantación manejada (irrigada y fertilizada) de *Pinus radiata* que produce unos 20 Mg por hectárea por año de fuste, extrajo por hectárea y por año, unos 30,7 kg de K, 14,6 kg de Ca, y 5,9 kg de Mg (Ericsson, 1994).

Según un trabajo realizado por Ericsson (1994) en diferentes sitios naturales de pino, el nutriente más extraído es el Ca, luego K, y el menos demandado es Mg; la información se presenta en el cuadro 11.

Cuadro 11. Tasas de extracción de nutrientes (kg ha^{-1} $año^{-1}$) en sitios naturales de pino.

Sitio	K	Mg	Ca
	kg ha^{-1} $año^{-1}$		
Finlandia	10-15	sin dato	11-19
Ontario	15	3	19
Suecia	4	1	7

Fuente: modificado de Ericsson (1994).

Según información presentada en el cuadro 12, se concluye que el K y Ca, son los elementos más demandados por pinos, mientras que Mg es el menos demandado de los tres.

Cuadro 12. Acumulación de nutrientes (kg ha^{-1}) en la biomasa aérea de distintas especies de pino

Especie	Edad	K	Ca	Mg
Pinus elliottii	15	137	226	53
Pinus taeda	16	165	187	46
Pinus taeda	25	115	100	32
Pinus radiata	26	224	129	-

Fuente: modificado de Prichett (1986).

Según de Moraes Gonçalves (1995) la extracción de bases en pinos sigue el siguiente orden: K>Ca>Mg.

La mayor concentración de nutrientes en el fuste se encuentra en la corteza (Ericsson, 1994), como se ve en el cuadro 13.

Cuadro 13. Concentración de nutrientes (mg g^{-1}) en fustes de *Pinus radiata* de 12 a 29 años de edad en sitios naturales.

Parte del fuste	K	Mg	Ca
	mg g^{-1}		
Madera	0,6	0,18	0,33
Corteza	1,7	0,7	1,3

Fuente: modificado de Ericsson (1994).

Si se tienen en cuenta las cantidades de nutrientes extraídas por año en un cultivo de *Pinus elliottii*, se constata que las cantidades extraídas son menores a la de los cultivos agrícolas presentados en el cuadro 14.

Cuadro 14. Extracción de K, Ca, y Mg en componentes cosechados de *P. elliottii*, y algunos cultivos agrícolas.

Especie	Edad (años)	Componente	Biomasa (Mg ha^{-1})	Cantidad de nutrientes (kg ha^{-1})		
				K	Ca	Mg
Pinus elliottii	24	madera (1)	368	110,4	36,8	36,8
		corteza (2)	65	39	6,5	6,5
		1+2	433	149,4	43.3	43,3
	por año	1+2	18	6,2	1,8	1,8
Caña		Tallo	100	110	10	20
Maíz		Granos	5	35	2	10
Soja		Granos	3	57	9,9	9,9

Fuente: modificado de de Moraes Gonçalves (1995).

La principal vía de retorno de nutrientes hacia el suelo es la caída de restos de biomasa del árbol, sin embargo existe un importante retorno a través de la disolución de elementos desde el follaje y su posterior descenso a través del tallo hacia el suelo (Pritchett, 1986). La información se presenta en el cuadro 15.

Cuadro 15. Regreso de nutrientes a la cubierta forestal como caída de biomasa y escurrimiento por el tronco en una plantación de *P. taeda.*

Vía	K	Ca	Mg
	kg ha^{-1} $año^{-1}$		
Caída de biomasa	16	29,2	6,9
Escurrimiento por el tronco	12,3	6,0	2,0

Fuente: modificado a partir de Pritchett (1986).

Además de la acumulación de nutrientes en la biomasa aérea, existe también una importante acumulación de nutrientes en la cubierta forestal sobre el suelo (Pritchett, 1986). Wells et al., citados por Pritchett (1986), observaron que en la biomasa aérea la acumulación de Ca y Mg era tres veces mayor, y la de K ocho veces más, que en la cubierta forestal. En el cuadro 16 se ve como evoluciona el aumento de nutrientes en la cubierta forestal en una plantación de *P. taeda* de 20 años.

Cuadro 16. Contenido de nutrientes de la cubierta forestal de una plantación de *P. taeda* durante los primeros 20 años a intervalos de 5 años.

Edad de plantación	K	Ca	Mg
Año	kg ha^{-1}		
5	5	16	2,3
10	12	59	10,5
15	14	73	14,2
20	16	80	15,5

Fuente: modificado a partir de Pritchett (1986).

En plantaciones de *P. taeda* se observaron disminuciones significativas en el contenido de nutrientes del suelo mineral durante el período comprendido entre el quinto y decimoquinto año (Wells et al., citados por Pritchett, 1986).

2.2. SUELOS DE APTITUD FORESTAL.

Los suelos de aptitud forestal ocupan en Uruguay una superficie superior a 3.600.000 ha, y estas están distribuidas en las praderas arenosas del centro y norte del país, en el litoral del Río Uruguay, y en parte de las serranías.

Según el artículo 5°de la ley N°15.939 del 28 de diciembre de 1987 son suelos forestales aquellos que:

A) *"por sus condiciones de suelo, aptitud, clima, ubicación, y demás características, sean inadecuados para cualquier explotación o destino de carácter permanente y provechoso."*

B) *"sean calificados como de prioridad forestal mediante resolución del Ministerio de Ganadería, Agricultura, y Pesca, en función de la aptitud forestal del suelo, o razones de utilidad pública. En este último caso, se comunicará a la Asamblea General."*

A su vez en los decretos reglamentarios Nro. 191/06 y Nro. 220/06, se especifica que son de prioridad forestal los grupos de suelos CO.N.E.A.T. 2.11a, 2.12, 5.01c, 5.02a, todos los 7, 07.1, 8.1, 8.02a, 8.02b, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.10, 8.11, 8.12, 8.14, 8.15, 8.16, 9.1, 9.2, 9.3, 9.42, 9.7, 9.8, 9.9, 09.2, 09.3, y S09.10. Se incluyen también donde la aptitud forestal sea definida y avalada mediante un informe de la División de Suelos y Aguas de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables los siguientes grupos de suelos: 2.11b, 2.14, 2.20 de los departamentos de Cerro Largo y Treinta y Tres, 4.2 del departamento de Maldonado y de las 8ª, 23ª, y 24ª Secciones Policiales de Canelones, 07.2, 8.9, 8.13, y S09.11.

En la elección de estos grupos de suelos CO.N.E.A.T. para ser declarados de prioridad forestal se buscó que los mismos cumplieran con los siguientes requisitos:

- Alta capacidad del suelo de producir madera.

- Baja competencia de la actividad forestal con otras actividades agropecuarias en esas zonas.

- Concentración geográfica de los suelos para la creación de polos industriales en torno a las plantaciones.

Según el artículo 3° del decreto 452/88 son de aptitud forestal aquellos suelos que permiten un buen crecimiento de los bosques, una buena capacidad de enraizamiento, un adecuado drenaje, y que son de baja fertilidad natural.

2.2.1. Grupos de suelos CO.N.E.A.T.

Los suelos estudiados en el Departamento de Rivera en este trabajo pertenecen a la Zona 7 de la clasificación CO.N.E.A.T.

En esta zona se agrupan todos aquellas asociaciones de suelos formadas sobre areniscas de Tacuarembó, y contiene a los grupos 7.1, 7.2, 7.31, 7.32, 7.33, 7.41, y 7.42 (URUGUAY. MAP, 1979).

Los suelos de esta zona son los más profundos del país (excepto los de los grupos 7.1 y 7.2), los más pobres, con problemas de toxicidad de aluminio inclusive, y con muy bajo contenido de materia orgánica (URUGUAY. MAP, 1979).

2.2.2. Suelos del Orden Desaturados Lixiviados.

Los suelos estudiados en este trabajo pertenecen al Orden de los Suelos Desaturados Lixiviados.

Los suelos de este Orden se formaron a partir de material geológico sedimentario, que consiste de areniscas devonianas y gondwánicas o formaciones superficiales de edad pleistocénica apoyadas sobre areniscas más antiguas, en ciertos casos se han formado sobre limolitas eo-gondwánicas o sobre migmatitas y granitos del zócalo cristalino (Durán, 1991b).

La génesis de los suelos del Orden se debe a procesos de lixiviación mecánica y química, e intensa meteorización de minerales primarios. La

translocación de arcilla de horizontes superiores determina la formación de un horizonte argilúvico, y la movilización asociada de materia orgánica y óxidos de hierro. En otros casos el fenómeno de hidromorfismo es responsable por la movilización de óxidos de hierro, y la aparición de moteados y segregaciones de hierro en los horizontes B y C. En estos suelos es común que existan horizontes transicionales E debido seguramente a la existencia de napas colgadas, aunque en suelos con buen drenaje también pueden existir horizontes transicionales E sin saber bien cual es su origen (Durán, 1991b).

La secuencia típica del perfil es A-Bt-C, con una profundidad dominante que va desde 1,5 a 2,0 m, siendo así los suelos más profundos del país. El horizonte A tiene una profundidad que varía entre 40 y 100 cm, su color es pardo más o menos oscuro con tonalidades grisáceas o rojizas, y la textura es franco arenosa o más liviana. La parte inferior del horizonte A es decolorada, y la transición entre este y el B puede ser abrupta o clara, pudiendo existir horizontes transicionales; mientras que el horizonte B puede ser rojo oscuro, pardo rojizo, pardo amarillento, pardo oscuro, o gris en profundidad con moteados rojos y amarillos, siendo su textura franco arcillo arenosa a arcillosa (Durán, 1991b).

Estos suelos sufrieron una intensa lixiviación de bases y un fuerte proceso de acidificación en todo el perfil, con valores de pH entre 4 y 5,5, así como un alto contenido de aluminio intercambiable sobre todo en horizontes inferiores producto de la acidificación. Los mismos presentan un horizonte B iluvial (horizonte argilúvico) desarrollado como resultado de la translocación de arcillas de horizontes eluviales superiores (URUGUAY. MAP, 1976).

Como resultado de la desaturación provocada por la lixiviación y las texturas livianas predominantes, el contenido de bases intercambiables es bajo, y la relación calcio:magnesio estrecha (URUGUAY. MAP, 1976). A su vez la perdida de bases no logra ser compensada por la reposición de cationes a partir de la alteración de minerales primarios (Durán, 1991b).

Los suelos de este Orden tienen una alta liberación de óxidos de hierro que imparten colores vivos al perfil, un bajo contenido de minerales alterables en las fracciones limo y arena, y presentan mayoritariamente minerales tipo 1:1 en la fracción coloidal; todo esto demuestra que el grado de meteorización en los mismos es avanzado (URUGUAY. MAP, 1976).

El contenido de materia orgánica es bajo en la mayoría de los suelos del Orden y la distribución de la misma dentro del perfil se caracteriza por la presencia de dos máximos, uno en el horizonte superficial, y otro en la parte superior del horizonte argilúvico. La existencia de este segundo máximo se debe a la translocación desde horizontes superiores de humus asociado a la arcilla. Durán (1991b) encontró un contenido promedio de 2,0% de materia orgánica en el horizonte A de 25 suelos desarrollados sobre areniscas devonianicas o gondwánicas, aunque con un elevado coeficiente de variación.

La capacidad de intercambio catiónico de la arcilla comprende valores que van desde 30 hasta 45 $cmol_c\ kg^{-1}$, aunque puede haber perfiles con valores de 20 o 25 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Durán, 1991b).

El valor de saturación en bases de 35% a pH 8,2 en el horizonte argilúvico es el criterio usado para dividir al Orden en dos Grandes Grupos: Luvisoles y Acrisoles. Las diferencias entre los dos Grupos son pues cuantitativas, y no de carácter cualitativo. Los Luvisoles son los suelos menos empobrecidos del Orden porque el proceso de desaturación se dio principalmente en la parte superior del horizonte argilúvico, y no tanto en el resto del perfil (Durán, 1991b).

La saturación en bases en el horizonte argilúvico de los Luvisoles es media a baja, pero en la mayor parte del perfil es superior a 35% a pH 8,2; el contenido de aluminio varia de 5 a 35%; el color del horizonte puede ser pardo, pardo amarillento, o rojizo; el contenido de materia orgánica es mayor al de los Acrisoles, existiendo algunos horizontes melánicos o úmbricos; y la capacidad de intercambio catiónico de la arcilla oscila entre 25 y 40 $cmol_c\ kg^{-1}$ (URUGUAY. MAP, 1976).

Los Luvisoles tienen un horizonte argilúvico con una saturación en bases que puede ser mayor o menor a 50% a pH 7; cuando la saturación es mayor a 50%, tienen un contenido de aluminio intercambiable mayor a 5% en alguna parte del mismo horizonte; mientras que si la saturación en el horizonte argilúvico es menor a 50% a pH 7, puede darse una situación en la cual la saturación sea mayor a 35% a pH 8,2, o que la saturación sea menor a 35% a pH 8,2 en la parte superior del horizonte, pero sea superior a 35% en la base del mismo (URUGUAY. MAP, 1976).

Los Acrisoles tienen una saturación en bases en el horizonte argilúvico que es inferior a 35% a pH 8,2, y es aún más baja en horizontes inferiores; el contenido de aluminio intercambiable es mayor a 35% por la elevada acidez; el contenido de materia orgánica es muy bajo, y en muchos casos se encuentra un segundo máximo en el horizonte B; los colores son semejantes al de los Luvisoles, pero existiendo también horizontes B y C rojos; y la capacidad de intercambio catiónico de la arcilla es menor a 25 $cmol_c\ kg^{-1}$ (URUGUAY. MAP, 1976).

2.3. CAMBIOS EN PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO AL PASAR DE USO PASTORIL A FORESTAL.

2.3.1. Propiedades químicas.

2.3.1.1. pH y acidez intercambiable (Al).

Jobbágy y Jackson (2003) sugieren tres mecanismos responsables por la acidificación del suelo al pasar de campo natural a forestación: entradas de ácidos orgánicos, respiración del suelo, y secuestro y redistribución de cationes.

En el primer mecanismo, los ácidos orgánicos producidos por las plantas son el agente acidificador. Muchos árboles tienen mantillo ácido, lavado de nutrientes desde la canopia, y productos de descomposición responsables de la acidificación. Esto determina el lavado de cationes y la disminución del pH del suelo después del establecimiento de plantaciones forestales (Ugolini et al., citados por Jobbágy y Jackson, 2003). Si la acidificación ocurre por entrada de ácidos orgánicos, hay una acidificación máxima en la superficie del perfil del suelo, y una pérdida de cationes desde la superficie (Jobbágy y Jackson, 2003).

El segundo mecanismo de acidificación es la entrada de ácidos orgánicos derivados de la respiración. El ácido carbónico es un importante agente de temperización en suelos (Richter et al., citados por Jobbágy y Jackson, 2003), y un alta producción de ácido carbónico ha sido asociada con el incremento en el lavado de cationes bases en bosques (Andrews et al., citados por Jobbágy y Jackson, 2003). Para que esto sea así, los árboles tienen que tener mayor respiración radicular y/o respiración microbiana asociada en

comparación con las pasturas. Contrariamente a esta idea, revisiones recientes sugieren que la respiración en el suelo tiende a ser menor en bosques (Raich et al., citados por Jobbágy y Jackson, 2003). Si la acidificación ocurre por un proceso de respiración, la máxima acidificación aparece en profundidad, y la perdida de cationes se da desde lo mas profundo del perfil (Jobbágy y Jackson, 2003).

El tercer mecanismo potencial de acidificación es el secuestro y redistribución de cationes incluidos en el ecosistema después de establecida una plantación forestal. Los árboles pueden almacenar más cationes que aniones, tanto en la biomasa, como en el piso orgánico (mantillo+suelo orgánico). Este exceso provoca una diferencia de cargas que determina que haya una ganancia neta de protones en el suelo (Nilsson et al., citados por Jobbágy y Jackson, 2003). Incluso cuando los bosques se aproximan a un estado estable de pérdida y ganancia de cationes, los cationes pueden ser redistribuidos en el suelo como resultado de un intenso ciclaje por parte de los árboles, localizando la acidificación en algunas capas (Jobbágy et al., citados por Jobbágy y Jackson, 2003).

Cuando la acidificación se da por un proceso de secuestro y redistribución de cationes, la máxima acidificación ocurre en donde la extracción de nutrientes por parte de las raíces es relativamente alta, pero la entrada de nutrientes desde el mantillo y el lavado desde la canopia es baja, es decir por debajo de los primeros 10 cm de suelo mineral. En este caso no hay una pérdida neta de cationes del ecosistema, ya que el secuestro puede contrarrestar las pérdidas del suelo. La máxima acidificación ocurre en capas intermedias del suelo, y existe una redistribución de cationes desde las capas intermedias hacia la superficie del suelo, aumentando así el nivel de cationes en superficie (Jobbágy y Jackson, 2003).

En comparación con las pasturas, sitios forestados con eucaliptos en La Pampa-Argentina tienen significativamente menor pH (4,6 contra 5,6 de la pastura). En tres sitios se estudiaron los cambios hasta el metro de profundidad, y se determinó que el suelo se volvió más ácido de los 5 a los 35 cm de profundidad, pero más alcalino por debajo de los 60 cm en comparación con las pasturas adyacentes, con pocas diferencias observadas entre 35 y 60 cm de profundidad. Estos cambios se corresponden con ganancias de acidez intercambiable y Na, en capas intermedias y profundas del suelo (Jobbágy y Jackson, 2003).

En el mismo trabajo de Jobbágy y Jackson (2003), la acidez intercambiable se incrementó en un rango de 0,5-1,2 $kmol_c\ ha^{-1}\ año^{-1}$ en los sitios forestados, aunque no se detectaron entradas de ácidos sobre el suelo desde la deposición húmeda y seca, el lavado desde la canopia, y el lavado desde el mantillo.

Los patrones verticales de acidificación del suelo, junto con la estimación de balances elementales, y las mediciones de acidez en superficie, sugieren que el mecanismo de secuestro y redistribución de cationes por los árboles es el dominante en La Pampa para la acidificación del suelo (Jobbágy y Jackson, 2003).

Según Jenny, Geis et al., Ugolini et al., citados por Jobbágy y Jackson (2003), comparaciones espaciales de áreas históricamente dominadas por árboles y pasturas indican que, el pH del suelo y la saturación en bases tiende a ser menor bajo forestación cuando los materiales parentales y el clima son similares.

Suelos bajo plantaciones de eucaliptos en La Pampa se acidificaron con la misma intensidad, que aquellos suelos afectados por la lluvia ácida en áreas muy industrializadas (Andrews et al., citados por Jobbágy y Jackson, 2003).

En un estudio realizado por Carrasco-Letelier et al. (2004) para el horizonte Au1 de argiudoles con eucaliptos de mas de 20 años de edad en Paysandú, se determinó que el pH del suelo disminuye bajo forestación con respecto al mismo suelo con campo natural, siendo la disminución del orden de 0,27 unidades, y existiendo una tendencia de podzolización y/o mineralización provocada por la forestación.

Hill et al. (2004) encontraron una acidificación significativa en suelos con plantaciones de 3 años de *E. grandis* en comparación con los mismos suelos con pasturas.

En un estudio realizado por Pérez Bidegain et al. (2001a) en donde se compararon suelos con plantaciones de *Eucalyptus* de 7 a 10 años, contra

suelos bajo pasturas, se determinó que bajo *Eucalyptus*, tenían mayor acidez y contenido aluminio intercambiable.

García Prechác et al. (2001) determinaron en un suelo bajo *Eucalyptus dunni*, en comparación contra el mismo suelo bajo campo natural regenerado, una disminución del pH, lo que estaría explicado principalmente por la vegetación de eucaliptos.

En un trabajo realizado por Martino et al. (1997) se afirma que la acidificación de los suelos, es debida a la descomposición microbiana de los residuos vegetales que se depositan sobre la superficie.

Según Aparicio (2003) en plantaciones de *E. grandis* de 12 años de edad sobre suelos de la provincia de Corrientes en Argentina, se constató en el pH una disminución con respecto al campo natural, siendo mayor esa disminución en los sitios de mayor productividad; y para la concentración de Al un aumento con respecto al campo natural, de entre 191 y 403%.

Davis (1994) estudió los primeros 10 cm de suelos con plantaciones de *Pinus radiata*, que originalmente tenían praderas, y determinó que el pH disminuyó significativamente de 4,3 a 4,1 bajo pino. Los cambios observados son atribuidos en gran parte al consumo de nutrientes por los pinos jóvenes, y al incremento de la mineralización de la materia orgánica del suelo, la cual puede haber sido promovida por el aumento de la aeración del suelo bajo pinos.

Los pinos pueden aumentar la acidificación del suelo a través de la producción de ácidos orgánicos, acumulación en la biomasa de cationes en exceso sobre aniones, y la captura de ácidos de polución (De Vries et al., Van Breeman et al., citados por Parfitt et al., 1997).

Las acículas de pino contienen una variedad de ácidos orgánicos que pueden llegar al suelo mineral, de esta manera el follaje de *P. radiata* tiene el potencial de disminuir el pH del suelo (Ghani et al., citados por Giddens et al., 1997).

En una plantación de *P. radiata* de 20 años de edad en Nueva Zelanda, Parfitt et al. (1997) encontraron una disminución en el pH del suelo de 0,4 unidades, con respecto al mismo suelo con campo natural.

P. radiata acumula grandes cantidades de nutrientes en su biomasa que pueden contribuir a la acidificación en la zona de la raíz (Magwick, citado por Parfitt et al., 1997).

Para plantaciones de *Pinus elliottii* de 3 años Hill et al. (2004) para pH, no encontraron una clara evolución, esto explicado por el poco tiempo de la plantación y el mayor tiempo que requiere esta especie para que se vean sus efectos sobre el suelo.

En un estudio realizado en un suelo derivado de ceniza volcánica, se vio que el cambio de uso del suelo de especies nativas de tipo subarbustivo-graminoso a *Pinus ponderosa*, no modificó el pH del suelo en agua, ni el pH en KCl, ni la acidez de intercambio (Candan et al., 2003).

La acumulación de cationes en la biomasa de los árboles, es un mecanismo frecuentemente citado como responsable por la acidificación, sobre todo en pinos (Brand et al., Binkley et al., Richter et al., citados por Farley y Kelly, 2004). En el trabajo de Farley y Kelly (2004) la acidificación bajo pino ocurre en los primeros 10 cm, sin diferencias del pH a otras profundidades donde las raíces están presentes.

Según Farley y Kelly (2004), los primeros reguladores en la acidificación del suelo en una plantación de *P. radiata* cerca de la superficie, serian la producción de dióxido de carbono, los ácidos orgánicos, y la producción de quelatos, y no la acumulación de cationes en la biomasa.

Un incremento en la producción de ácido carbónico, en asociación con un incremento en la descomposición, pueden ser responsables de entradas adicionales de ácidos al suelo. En el estudio realizado por Farley y Kelly (2004) la descomposición es responsable al menos en parte, por un menor contenido de carbono orgánico en el suelo bajo pino, y contribuye a la acidificación del suelo. Sin embargo este proceso produce un patrón vertical en el cual la

acidificación es dominante en profundidad según Jobbágy et al., citados por Farley y Kelly (2004), cosa que no ocurre en el trabajo de Farley y Kelly (2004).

En sitios bajo *P. radiata* de 17 a 30 años de edad, se encontró menor pH y mayores concentraciones de aluminio intercambiable que en sitios similares bajo pasturas. Los valores de pH bajo pasturas estaban en el rango de 5,3 a 6,5, y bajo pino de 4,9 a 5,9. La mineralización del nitrógeno, junto con la producción de ácidos orgánicos, y la extracción en exceso de cationes sobre aniones, pueden ser las causas responsables de la acidificación del suelo (Giddens et al., 1997).

Richter et al. (1994) hicieron un trabajo con el objetivo de evaluar como un suelo cultivado antiguamente respondía a las tres primeras décadas de una plantación de *P. taeda*. Durante el período comprendido se midieron los primeros 60 cm de suelo, y se determinó que hubo un incremento en la acidez medida en KCl en 37,3 $cmol_C\ ha^{-1}$.

Según Dieste (1999), suelos forestados en Rivera con *P. taeda* de más de 15 años de edad, son más ácidos que suelos bajo campo natural, con valores entre 4,0 y 5,5; a su vez para el contenido de Al no encontró diferencias significativas.

2.3.1.2. Bases de intercambio (Ca, Mg, K, y Na), bases totales (BT), capacidad de intercambio catiónico (CIC), y porcentaje de saturación en bases (%SB).

Los cationes bases son esenciales para la nutrición de las plantas, y juegan un rol importante balanceando la acidez del ecosistema (Aber et al., citados por Jobbágy y Jackson, 2003).

En un estudio, Jobbágy y Jackson (2003) determinaron que después de forestado, dentro del suelo mineral, el balance inferido de cationes del ecosistema (biomasa+piso forestal+primer metro de suelo mineral) reveló una sustancial redistribución vertical de Ca, y el triple de reserva de Na. Este mayor contenido de Na después de forestado está explicado porque el lugar donde se llevo a cabo el estudio es de clima semi-árido y existe una napa colgada de agua, que hace que cuando los árboles extraen el agua del suelo, el Na de las

capas inferiores sea transportado en el agua hacia las superiores, permaneciendo allí sin perderse por absorción y/o evapotranspiración.

Jobbágy y Jackson (2003), en comparación con pasturas encontraron en el suelo de plantaciones de eucaliptos 40% menos de Ca, mayor cantidad de Na, mientras que Mg y K, mostraron tendencias variables con diferencias significativas en ambas direcciones. La CIC efectiva fue menor en los suelos con forestación, pero sólo hasta 50 cm de profundidad. Los sitios con pasturas, tenían 100% de saturación en bases, y en los sitios con forestación disminuía a 80% de los 10 a 35 cm del perfil.

Para las concentraciones de K, Ca, y Mg, Aparicio (2003) encontró en *E. grandis* de 12 años una disminución con respecto al campo natural, siendo mayor la disminución en Ca y Mg.

Para el contenido de K, Ca, y Mg, Davis (1994) encontró una disminución en el suelo al pasar de pasturas a pinos.

Para plantaciones de pino de 20 años Parfitt et al. (1997) hallaron un incremento en los reservorios de Mg, K, y Na. Aunque la extracción de nutrientes desde los primeros 20 cm del perfil del suelo fue grande en pino, esas pérdidas fueron compensadas por un incremento de las entradas de nutrientes a partir del ciclaje y la intercepción de sal marina por la canopia.

Candan et al. (2003) encontraron una tendencia a una mayor concentración de bases en el horizonte A en las parcelas con vegetación nativa respecto a *Pinus ponderosa*, esto podría deberse según Austin et al., Mazzarino et al., citados por Candan et al. (2003), a una menor devolución de bases al sistema bajo pino, debido probablemente a su acumulación en madera y al aporte de una hojarasca con menor concentración de bases, mayor relación C/N, y más lenta descomposición.

En un estudio bajo *P. radiata* en comparación con pasturas, se halló que la cantidad de Ca intercambiable fue menor bajo pino. El Na y Mg intercambiables son usualmente mayores bajo *P. radiata* que en pasturas, esto como resultado de la intercepción por parte de la canopia de la sal marina, y su

posterior transferencia al suelo; no se encontraron tendencias para K (Giddens et al., 1997).

Para una plantación de *P. taeda* de 30 años, Richter et al. (1994) hallaron una reducción en Ca y Mg de 34,8 y 8,9 $cmol_c$ ha^{-1} (696 y 108 kg ha^{-1}) respectivamente, mientras que K se redujo sólo en 0,5 $cmol_c$ ha^{-1} (19 kg ha^{-1}). La reducción de Ca intercambiable fue de la misma magnitud que las remociones de Ca (acumulación de Ca en la biomasa y en el piso forestal, más las pérdidas por lavado). Las remociones de Mg dejaron atrás el suministro a partir del reciclaje, deposición atmosférica, y temperización mineral, pero no en el mismo grado que Ca. Después de tres décadas, la perdida por lixiviación de estos cationes bivalentes, es igual a la acumulación en la biomasa más el piso forestal, con el sulfato balanceando la mitad de esos cationes en la lixiviación. En contraste a Ca y Mg, las remociones totales de K del suelo excedieron las reducciones en K intercambiable del suelo. El K intercambiable fue bien amortiguado en la superficie de suelos minerales debido a la combinación de un reciclaje biológico vía lavado a partir de la canopia, y a partir del piso forestal más el suministro a partir de la temperización mineral.

Dieste (1999), en suelos de Rivera no pudo concluir sobre el efecto de la forestación con *P.taeda* sobre la CIC en comparación con campo natural, debido a la escasa diferencia encontrada entre usos y el alto desvío típico que presenta la CIC bajo forestación. Tampoco pudo concluir que el contenido de bases totales fuera menor bajo forestación.

Al analizar los contenidos de carbono y bases referidos a masas de suelo equivalentes en todo el perfil, el pino aún no los modifica completamente, si bien afecta las concentraciones (Candan et al., 2003).

2.3.1.3. Carbono orgánico.

Pérez Bidegain et al. (2001a), informan que el cambio de uso, de pasturas a eucaliptos, resulta en una reducción del contenido de carbono orgánico en el suelo mineral en los primeros 2,5 cm, a mayores profundidades hasta 15 cm no encontró diferencias. En otro trabajo del mismo autor (2001b) en plantaciones de *E. grandis* de 8 años, determinó menor contenido a 5 cm de profundidad, en comparación con el campo natural.

Según Cozzo y Riveros (1969), Cozzo (1971), la evaluación comparativa de la materia orgánica ofrecida al suelo por el eucalipto, en comparación con otras especies forestales y pasturas, indican un efecto positivo sobre la mejoría potencial de las propiedades químicas del suelo sobre plantaciones de esta especie, al mejorar la capacidad de intercambio catiónico. Estos autores estimaron una acumulación cerca de dos a cuatro veces más sobre eucalipto que sobre pasturas.

En un estudio hecho por Jobbágy y Jackson (2003) sobre varios suelos típicos de La Pampa-Argentina que originalmente habían tenido pasturas nativas de clima húmedo templado y que actualmente están forestados con eucaliptos, encontraron en promedio un 30% más de carbono orgánico en el suelo mineral en los primeros 20 cm.

Carrasco-Letelier et al. (2004) en un estudio hecho en los primeros 18 cm de suelo mineral en argiudoles encontraron que los niveles de carbono orgánico del suelo bajo plantaciones de *Eucalyptus sp.* mostraron una disminución significativa de 0,68 unidades porcentuales, con una perdida orgánica del suelo neta de 16,6 Mg por hectárea, en comparación con campo natural.

Hill et al. (2004) en un trabajo hecho a diferentes intervalos de profundidades hasta 60 cm en el suelo mineral, encontraron en plantaciones de *E. grandis* de 3 años en comparación con pasturas ubicadas en los mismos suelos, una acumulación significativa de carbono orgánico a partir de los 30 cm de profundidad hasta el horizonte B, esto esta determinado en parte por que los suelos estudiados presentan un pico de acumulación de materia orgánica en el horizonte B por procesos de podzolización.

García Prechác et al. (2001) determinaron en un suelo bajo *Eucalyptus dunni*, menor contenido de carbono orgánico en los primeros 2,5 cm del perfil, determinado principalmente por la intensidad de laboreo en la preparación del sitio.

Para el % de materia orgánica Aparicio (2003) encontró una disminución de 29% en promedio en sitios forestados con *E. grandis*, contra campo natural.

Davis (1994) encontró que en los primeros 10 cm de un suelo, el contenido de carbono orgánico era de 7,6% bajo pasturas y de 7,2% bajo *P. radiata*. Dicha disminución no fue significativa. La mineralización de la materia orgánica del suelo por las raíces de los pinos o sus micorrizas, sea posiblemente a través de la actividad enzimática o la producción de ácidos orgánicos.

Parfitt et al. (1997) observaron que la reserva y concentración de carbono orgánico disminuyó en los primeros 20 cm de un suelo mineral con pino. Sin embargo, cuando la capa de mantillo fue incluida en la reserva de carbono orgánico, no se encontraron diferencias significativas entre pastura y pino, lo que indicó que la disminución es contrarrestada por una acumulación de una capa superficial de mantillo.

Para plantaciones de *Pinus elliottii* de 3 años Hill et al. (2004) en un estudio hecho hasta 60 cm de profundidad en el suelo mineral encontraron que, el contenido de carbono orgánico del suelo era mayor significativamente en pasturas que bajo *P. elliottii*, aunque esas diferencias no fueron de gran amplitud. Se debe tener en cuenta que por la edad de la plantación el aporte de residuos fue bajo, por lo que se debe esperar plazos mayores para ver los efectos sobre el suelo.

Candan et al. (2003) observaron un menor contenido de carbono bajo *P. ponderosa* que bajo vegetación nativa, siendo significativo sólo en uno de dos sitios estudiados. La hojarasca que aporta la vegetación de coníferas tiene una alta relación C/N, implicando en un modo simplista una tasa de descomposición de la materia orgánica más lenta y una mayor ganancia de carbono en la vegetación (Jarvis et al., Austin et al., citados por Candan et al., 2003).

Giddens et al. (1997) encontraron que el contenido de carbono orgánico total de los primeros 10 cm de un suelo no varió al pasar de pasturas a *P. radiata.*

Dieste (1999) encontró en Rivera que los suelos forestados con *P. taeda* son más ricos en carbono orgánico que los suelos con vegetación nativa de pasturas, esta diferencia no es evidente en los primeros 20 cm de suelo, pero si considerando 100 cm de suelo. Los valores de carbono orgánico para estos suelos cualquiera sea el uso esta comprendido entre 1,2 y 0,2%.

2.3.2. Propiedades físicas.

Soni et al., citados por De Paula Lima (1996), en un estudio comparativo, relatan que la tasa de infiltración fue mayor sobre plantaciones de eucalipto que sobre plantaciones de pinos, otras especies nativas, y pasturas. Esto obedece a lo que Santantonio (1989) relata con respecto a la tasa de descomposición y reciclaje de raíces finas en las plantaciones forestales. Según este autor esa incorporación debe sin duda contribuir para la mejoría de las propiedades físicas del suelo.

Davis (1994) en un estudio realizado en Nueva Zelanda determinó en los primeros 10 cm de suelo, que bajo pastura la densidad aparente era de 0,68 g cm^{-3}, y bajo pino de 0,74 g cm^{-3}; y que la porosidad total era de 74% bajo pastura, y de 72% bajo pino. En ninguna de las dos variables las diferencias encontradas por el autor fueron significativas.

Pérez Bidegain et al. (2001b) determinaron que suelos con plantaciones de *Eucalyptus sp.* de 7 a 10 años, tenían menor retención de agua a -10 kPa de potencial de matriz, que el mismo suelo con pasturas.

En otro trabajo realizado por Pérez Bidegain et al. (2001a) al comparar el efecto de distintos laboreos del suelo para el establecimiento de plantaciones de *E. grandis*, determinaron luego de 8 años de establecidas las plantaciones, que los suelos originalmente con vegetación de pasturas, presentaban menor densidad aparente que el promedio de los sitios con plantaciones de *E. grandis*, eran menos compactos, y retienen mayor contenido de agua a cualquier potencial de matriz comprendido entre 0 y –300 kPa.

En un estudio realizado en una plantación de *E. grandis* sobre un Ultisol arenoso del departamento de Rivera, Salvo et al. (2005), observaron que el suelo bajo eucaliptos siempre tuvo menor contenido de agua, tanto en verano, como en invierno; que la capacidad de campo estimada a 0,1 atm para los 120 cm fue menor que bajo pastura, debido a la diferente retención en el horizonte Bt; y plantean la hipótesis de que menor retención de agua y menor escurrimiento superficial, significaría mayor drenaje profundo y recarga de acuíferos en el período invernal bajo eucaliptos.

En el horizonte A la causa de menor retención según Musto, citado por Salvo et al. (2005) seria la distribución del tamaño de los poros y la hidrofobicidad provocada por algunos compuestos orgánicos, producto de la descomposición de restos de *Eucalyptus*. Doerr et al., citados por Salvo et al. (2005), mencionan que las plantas más comúnmente asociadas con la repelencia de agua son los árboles perennes, en particular aquellos que tienen una considerable cantidad de resinas, ceras o aceites aromáticos como los eucaliptos y los pinos.

En un estudio realizado por Hill et al. (2004) para plantaciones de pinos y eucaliptos de 3 años en el departamento de Rivera, se encontró menor capacidad de retención de agua de suelos bajo eucaliptos (16 mm menos), que bajo pasturas, lo cual no se cumplió para todas las profundidades, variación que estuvo asociada al contenido y distribución de carbono orgánico. Para los suelos bajo pino, se encontró alguna tendencia, pero los efectos no fueron significativos, esto es debido a que esta especie es de crecimiento más lento que los eucaliptos, y en tres años no forman dosel, y no aporta residuos en forma importante.

Ciefap (2003) atribuye la reducción en la capacidad para retener agua a la disminución de la permeabilidad del suelo, causada por la compactación del mismo.

La conductividad hidráulica en flujo saturado interviene en todos los procesos relacionados con el movimiento del agua y solutos en el suelo, y constituye un descriptor fundamental de la naturaleza del suelo, y es usado para estimar otros parámetros más complejos de determinar. En las capas superficiales del suelo, los valores tienen gran variabilidad espacial, debido a la naturaleza del suelo, por ser este un medio complejo (Polo et al., 2003).

La conductividad hidráulica es una característica con alta variabilidad espacial, esto está asociado con la heterogeneidad de las propiedades del suelo. Sobre todo en suelos con muchos elementos gruesos dentro del perfil y sobre la superficie muestran grandes variaciones en sus propiedades (hidrológicas principalmente) de carácter anisotrópico que se manifiestan a cortas distancias (Acuña y Poch, 2001).

En el cuadro 17 se presenta información de las clases de conductividad hidráulica según Duran (1991b).

Cuadro 17. Clases de conductividad hidráulica (K) en flujo saturado.

Clase	K en cm hora^{-1}
Lenta a moderada	< 2,5
Moderada a buena	2,5 – 7,5
Excesiva	> 7,5

Fuente: modificado a partir de Durán (1991a).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. ÁREAS DE ESTUDIO Y MUESTREO.

Para el siguiente trabajo se seleccionaron nueve rodales ubicados en el departamento de Rivera, cuatro de ellos de *Eucalyptus grandis* de más de 15 años de la empresa COFUSA, y cinco de *Pinus taeda* de más de 18 años de la empresa FYMNSA. Cada rodal fue considerado como un sitio diferente y en cada uno de ellos, se ubicaron puntos de muestreo bajo el monte y en algún espacio adyacente en donde la vegetación fuera de campo natural, de manera que los sitios son apareados. El criterio para identificar cada punto de muestreo, fue que tuvieran suelos similares en las dos situaciones de uso, para posteriormente poder comparar estadísticamente los resultados de las propiedades evaluadas. La descripción de los suelos de los sitios estudiados se presenta en los anexos, correspondiendo a suelos desaturados lixiviados de la Unidad Rivera.

3.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO.

3.2.1. Propiedades químicas.

Para la determinación de las propiedades químicas, en cada sitio se marcaron tres repeticiones distanciadas entre 20 y 30 m, cada una de las cuales incluía las dos situaciones de uso (manejo pastoril y manejo forestal). En cada una de ellas se tomaron muestras compuestas de 20 tomas con calador para toda la profundidad del horizonte superficial (A), y cinco tomas con taladro holandés para los sub-horizontes E (o AB) y B. Para la situación bajo manejo forestal se muestreó la entrefila de plantación. Posteriormente las muestras fueron secadas en estufa a 45 ℃, molidas y tamizad as.

El pH en agua y en cloruro de potasio, se determinó por potenciometría, usando una relación de suelo:solución de 1:2,5 (Thomas, 1996).

La acidez intercambiable (en la cual más del 90% corresponde a Al intercambiable) se determinó mediante extracción con cloruro de potasio 1 M, y titulación del extracto filtrado con hidróxido de sodio (Thomas Sims, 1996).

Las bases de intercambio (Ca, Mg, K, y Na) se determinaron mediante extracción con acetato de amonio 1 M neutro, determinando posteriormente Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica, y K y Na por espectrometría de emisión (Thomas, 1982).

El contenido de bases totales (BT) a pH del suelo se calculó por la suma del contenido de cada una de las bases de intercambio.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) a pH del suelo se calculó por la suma de las bases totales (BT) más acidez intercambiable.

El porcentaje de saturación en bases (SB) a pH del suelo se calculó por el cociente entre las bases totales y la capacidad de intercambio catiónico, multiplicado por 100.

Para determinar carbono orgánico (Corg) se usó el método de Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1996). Esta determinación se hizo para muestras obtenidas en los horizontes minerales del suelo, sin considerar el horizonte orgánico (O) en donde existe una importante acumulación de materia orgánica aportada por la masa forestal. Tampoco se consideró la estratificación del carbono orgánico dentro del perfil, no realizándose un muestreo a intervalos más pequeños de profundidades.

3.2.2. Propiedades físicas.

Para la determinación de propiedades físicas se seleccionaron tres de los cuatro sitios apareados de *E. grandis*-campo natural, y tres de los cinco sitios apareados de *P. taeda*-campo natural. En cada sitio y en cada uso, se obtuvieron tres muestras imperturbadas a las profundidades de 5-10 cm, 25-30 cm, y en la parte superior del horizonte B. Las muestras imperturbadas se extrajeron con un muestreador, el cual consiste en un cilindro hueco que lleva en su interior dos cilindros de volumen conocido; uno para absorber el esfuerzo de penetración, y el otro es el que extrae la muestra. El dispositivo penetra el suelo mediante golpes con una maza en su parte superior. Para extraer las muestras se usaron aros de 68,5 cm^3 de volumen en los 5-10 cm del perfil y en

los 25-30 cm del perfil, mientras que en el horizonte B se usaron aros de 100 cm^3.

La densidad aparente (DAP) se determinó por el cociente del peso de la muestra secada a 105 ºC en estufa hasta peso constante sobre el volumen del cilindro que contiene la muestra (Black, 1965).

La porosidad total se calcula por la diferencia entre 1 y el cociente de la densidad aparente sobre la densidad promedio estimada del suelo de 2,65 g cm^3, todo multiplicado por 100 (Pritchett, 1986).

La macroporosidad se calcula por la diferencia entre la porosidad total y el contenido volumétrico de agua con 0,1 bar de succión de matriz, que en equilibrio se considera estima la microporosidad.

Se determinó la retención de agua a las siguientes succiones de matriz: 0,1, 0,33, 1, y, 3 bar. Para ello, las muestras imperturbadas de suelo se saturaron en agua, y luego fueron puestas sobre un plato poroso dentro de un extractor de presión. Una vez que la muestra alcanza el equilibrio con el plato, las muestras fueron retiradas después de realizada la descompresión. El contenido de agua se obtiene por la diferencia entre el peso de las muestras a la succión de matriz correspondiente y el peso de las muestras secadas a 105 ºC hasta peso constante. El contenido de agua se expresó en porcentaje en volumen (%HV).

Se determinó conductividad hidráulica con carga constante y en flujo saturado usando un permeámetro, para ello cada muestra imperturbada saturada en agua fue colocada dentro de un cilindro de plástico, al que se le va añadiendo agua hasta formar una columna sobre la muestra, la altura de dicha columna de agua se mantiene constante mediante una botella de Mariotte. El agua añadida percola a través de la muestra y se va recogiendo en un recipiente colocado debajo durante un tiempo determinado. Transcurrido ese tiempo se mide el volumen de agua percolada a través del suelo y la conductividad se calcula con la siguiente expresión, al despejar la ecuación que expresa la Ley de Darcy:

$$K = \frac{\left[\left(C \bullet V\right) / \left(H \bullet S\right)\right]}{t}$$

En la expresión anterior, K representa la conductividad hidráulica expresada en cm hora^{-1}. C y H representan respectivamente las alturas correspondientes de la columna de suelo y de la columna de agua, ambas expresadas en centímetros. S es la sección del tubo expresada en centímetros cuadrados, V el volumen de agua recogido en el recipiente expresado en centímetros cúbicos, y t el tiempo expresado en horas que demora en recogerse el volumen V de agua en el recipiente debajo de la muestra. A las muestras se les hizo percolar agua hasta obtener el valor mas bajo de conductividad constante.

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

Para el análisis estadístico se consideró un diseño en bloques, para lo que se tomaron tres repeticiones en cada sitio apareado (campo natural y monte forestal), horizonte, y especie; estos datos fueron procesados usando el programa estadístico Statistical Analisis System (SAS). Para las propiedades químicas se analizaron todos los sitios para ambas especies, mientras que para propiedades físicas se analizaron tres sitios para cada especie.

Las hipótesis a testear fueron:

a) Si existían diferencias globales en los valores de las propiedades evaluadas, causadas por el cambio de uso del suelo; para este análisis se trabajó con el promedio de valores del horizonte A, y el promedio de valores del horizonte B de todos los sitios, dentro de cada especie.

b) Si las diferencias entre los valores de las propiedades evaluadas, causadas por el cambio de uso del suelo, variaban según el sitio (interacción uso* sitio); para este análisis también se trabajó con el promedio de valores del horizonte A, y el promedio de valores del horizonte B de todos los sitios, dentro de cada especie.

c) Si existían diferencias individuales por sitio en los valores de las propiedades evaluadas, causadas por el cambio de uso del suelo; este análisis se realizó para cada horizonte de suelo de cada sitio (dichos resultados son indicados en los anexos).

d) Si las diferencias entre los valores de las propiedades evaluadas, causadas por el cambio de uso del suelo, variaban según el horizonte de suelo en consideración (interacción uso*horizonte); este análisis se realizó individualmente por sitio, considerando solamente al horizonte A y al horizonte B de los suelos.

En los cuadros que se presentan en el capitulo 4, uso Campo es sinónimo de pastura natural y uso Monte es sinónimo de uso forestal.

Referencias en los cuadros:

IntUsoHor: Interacción uso por horizonte.
IntUsoSit: Interacción uso por sitio.
Pr > F: probabilidad del valor de F.

Se establecieron diferencias entre las medias de los usos para las distintas propiedades evaluadas con un 90% de confianza, y en los casos que se habla de tendencias fue entre 85 y 90% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. SUELOS ESTUDIADOS.

Los suelos estudiados pertenecen a la Unidad Rivera de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (URUGUAY. MAP, 1976), según la cual están incluidos en el Orden Desaturados Lixiviados, correspondiendo a Acrisoles y Luvisoles, formados a partir de removilizaciones de areniscas de la Formación Tacuarembó. Los resultados de los análisis de laboratorio para los sitios bajo campo natural muestran valores similares a los de la descripción presentada en la sección 2.2.2. Para pH al agua se encontraron en el horizonte A valores comprendidos entre 4,5 y 5,3, con una media de 4,8; y en el horizonte Bt valores de 4,6 a 5,1, con una media de 4,8. Para Al en el horizonte A se encontraron valores comprendidos entre 0,10 a 1,06 $cmol_c\ kg^{-1}$, con una media de 0,57; y en Bt valores de 0,45 a 5,63 $cmol_c\ kg^{-1}$, con una media de 1,95. El Al representa en promedio un 23% del complejo de intercambio en el horizonte A, y un 31% de la CIC en el Bt. Se encontraron bajos valores de bases intercambiables, con porcentajes de saturación en bases promedios de 77% en el horizonte A, y de 69% en Bt. El contenido de carbono orgánico es de 1,15% en promedio en el horizonte A y de 0,89% en Bt.

4.2. PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis* PARA ASERRADO VS. USO PASTORIL.

A continuación se presentan los resultados de los análisis de las diferentes propiedades químicas y físicas evaluadas para los sitios estudiados, así como las diferencias encontradas por el cambio de uso pastoril a forestal.

4.2.1. Propiedades químicas.

En el cuadro 18 se indican los valores promedio de las propiedades químicas evaluadas para los dos usos en los cuatro sitios, para los horizontes A y B de los suelos estudiados. En el cuadro 19 se indican para los cuatro sitios las probabilidades de F para la interacción uso por horizonte. En los anexos se muestran los datos individuales para cada suelo por horizonte.

Cuadro 18. Propiedades químicas para el promedio de los cuatro sitios de *E. grandis* vs. campo natural según horizonte y uso, y significación estadística entre usos e interacción uso por sitio, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE							
		A				Bt			
		Uso		Pr > F		Uso		Pr > F	
		Campo	Monte	Uso	IntUsoSit	Campo	Monte	Uso	IntUsoSit
pH(H_20)		4,85	4,39	*<0,0001*	*0,0073*	4,84	4,47	*0,0003*	*0,1340*
pH(KCl)		3,91	3,58	*<0,0001*	*0,0072*	3,68	3,44	*<0,0001*	*0,3662*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	1,245	0,586	*0,0001*	*0,0021*	2,046	1,399	*0,0002*	*0,0042*
Mg		0,489	0,299	*0,0003*	*0,3796*	1,005	0,868	*0,0421*	*0,0070*
K		0,234	0,151	*0,0001*	*0,0049*	0,359	0,190	*0,0001*	*0,0001*
Na		0,388	0,303	*0,0016*	*0,1290*	0,413	0,363	*0,0031*	*0,0019*
BT		2,354	1,336	*0,0001*	*0,0222*	3,822	2,819	*0,0002*	*0,0097*
Al		0,522	1,285	*0,0001*	*0,5812*	1,867	3,217	*0,0012*	*0,4612*
CIC		2,875	2,621	*0,1428*	*0,0698*	5,688	6,035	*0,0916*	*0,0075*
SB	%	83,2	51,2	*0,0001*	*0,2080*	70,7	48,0	*0,0001*	*0,5136*
Corg		1,174	1,102	*0,5490*	*0,9423*	0,832	0,850	*0,7877*	*0,0159*

Cuadro 19. Probabilidades del valor de F para la interacción uso por horizonte de los sitios de *E. grandis* vs. campo natural.

PROPIEDAD	Sitio			
	1	2	3	4
	IntUsoHor	IntUsoHor	IntUsoHor	IntUsoHor
pH(H2O)	*0,6027*	*0,0654*	*0,9934*	*0,3834*
pH(KCl)	*0,8865*	*0,0013*	*0,7545*	*0,1907*
Ca	*0,8966*	*0,0918*	*0,7829*	*0,0138*
Mg	*0,0331*	*0,0296*	*0,9622*	*0,1505*
K	*0,0152*	*0,0001*	*0,0105*	*0,8800*
Na	*0,0912*	*0,6176*	*0,0057*	*0,5275*
BT	*0,4367*	*0,2112*	*0,8818*	*0,2772*
Al	*0,9413*	*0,9933*	*0,2311*	*0,0001*
CIC	*0,8903*	*0,1719*	*0,0849*	*0,0013*
SB	*0,2537*	*0,0406*	*0,8574*	*0,4068*
Corg	*0,6510*	*0,8497*	*0,0495*	*0,0224*

4.2.1.1. Acidez del suelo: pH (en H_2O y KCl) y acidez intercambiable (Al).

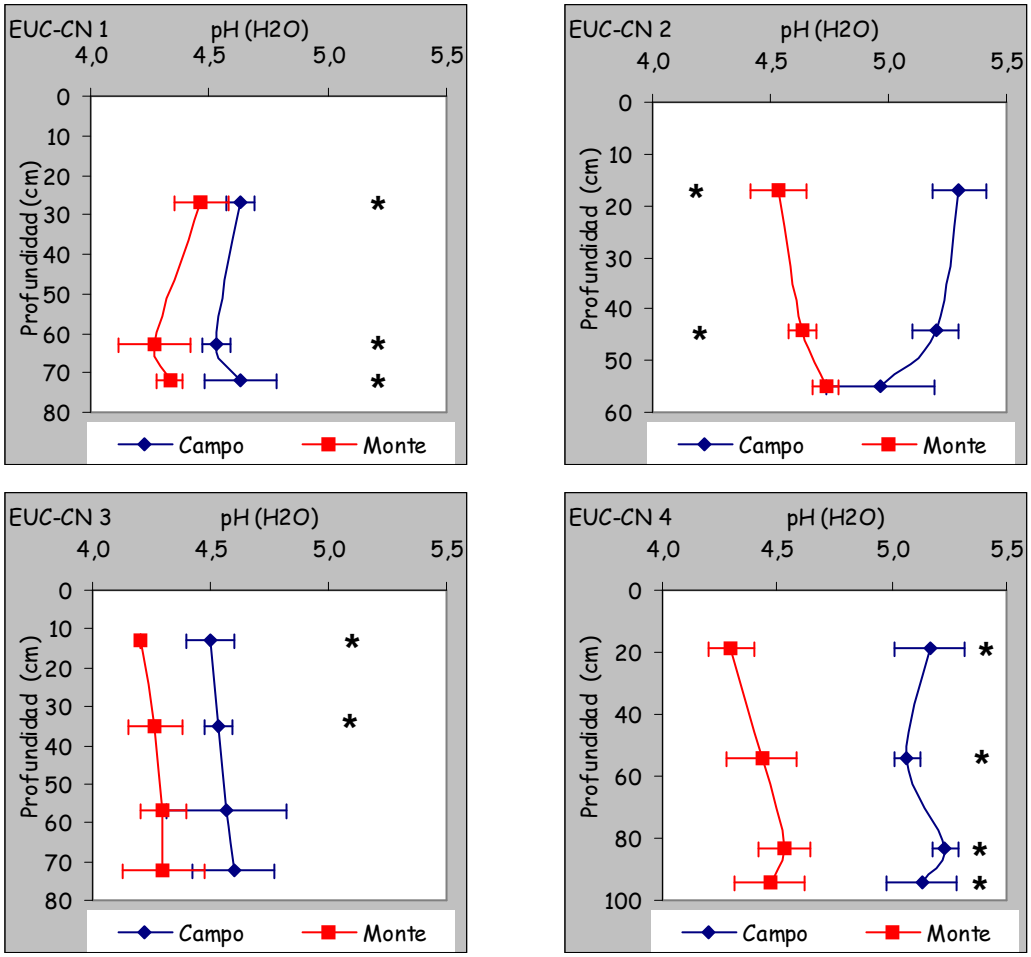
Como se ve en el cuadro 18, se encontraron diferencias significativas entre usos (pastoril y forestal) en los horizontes A y Bt, para el promedio de los cuatro sitios; viéndose una disminución promedio bajo monte, para pH en H_2O de 4,85 a 4,39 (0,46 unidades) en el horizonte A y de 4,84 a 4,47 (0,37

unidades) en el Bt, y para pH en KCl de 3,91 a 3,58 (0,33 unidades) en el horizonte A y de 3,68 a 3,44 (0,24 unidades) en Bt. A su vez sólo se encontró interacción uso por sitio para el horizonte A, lo que indica que el cambio de uso no actuó con la misma magnitud en todos los sitios en dicho horizonte.

Para el contenido de Al, se encontraron diferencias significativas entre usos en los horizontes A y Bt, para el promedio de los cuatro sitios; viéndose que aumenta bajo monte, de 0,522 a 1,285 $cmol_c\ kg^{-1}$ (146 % de aumento) en el horizonte A, y de 1,867 a 3,217 $cmol_c\ kg^{-1}$ (72 % de aumento) en el Bt (ver cuadro 18).

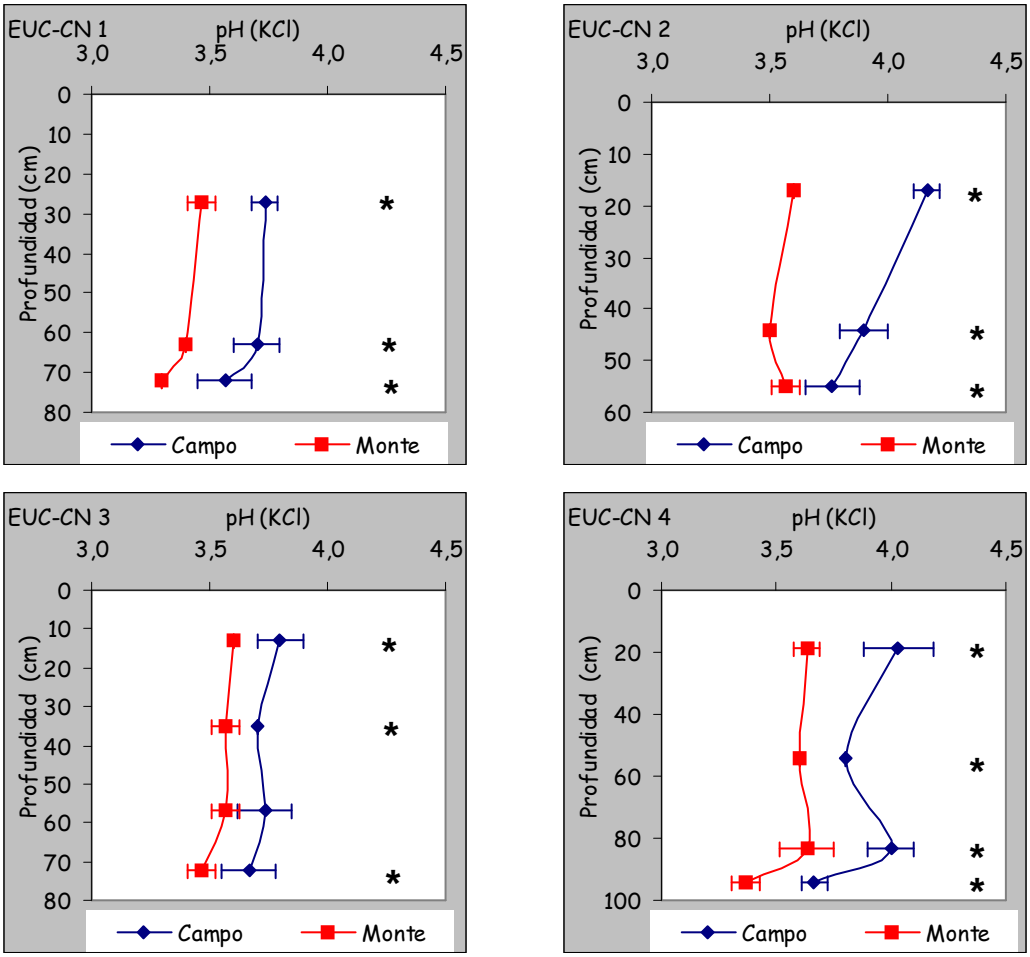
Para los análisis sitio por sitio, según horizonte, tanto para pH (H_2O y KCl) y para Al, se encontraron diferencias significativas en todos los sitios, para la mayoría de los horizontes, siendo bajo monte, menor el pH y mayor el contenido de Al (ver los cuadros 3 a 6 de los anexos y figuras 1 a 3).

Como se ve en el cuadro 19 para pH (H_2O y KCl) sólo se encontró interacción uso por horizonte para el sitio 2, lo que indica que si bien, al pasar de campo a forestación hay una disminución del pH, la misma no es de la misma magnitud en todos los horizontes, es decir que hay horizontes que son más susceptibles al cambio de uso. Para Al se encontró interacción uso por horizonte sólo en el sitio 4, lo que indica que el uso influyó con distinta intensidad en los distintos horizontes de dicho sitio.



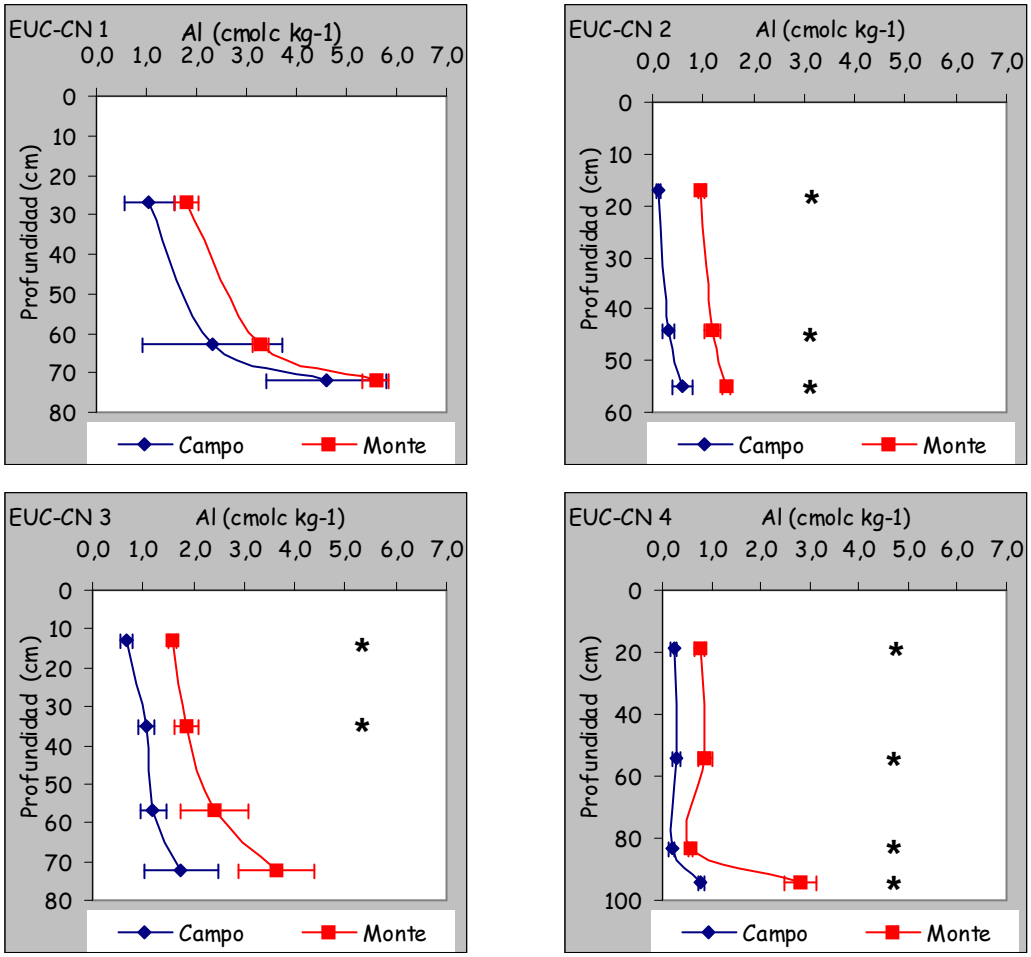
* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 1. pH al agua en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 2. pH al KCl en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 3. Contenido de Al en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*.

Para pH se observó una disminución bajo monte, resultados que están de acuerdo con los informados por Jobbágy y Jackson (2003), aunque no se puede atribuir uno de los mecanismos de acidificación del suelo al pasar de campo natural a forestación propuesto por el autor.

Estos resultados para pH concuerdan con lo dicho por Andrews et al., Jenny, Geis et al., Ugolini et al., citados por Jobbágy y Jackson (2003). A si mismo resultados similares obtuvieron, Pérez Bidegain et al. (2001a), Aparicio (2003), Carrasco-Letelier et al. (2004). Martino et al. (1997) afirma que la

descomposición microbiana de los residuos vegetales que se depositan sobre la superficie es la responsable de la acidificación de los suelos a éste nivel.

Mientras que en el presente trabajo la disminución del pH bajo monte fue en todo el perfil del suelo y de una magnitud de 0,24 a 0,46 unidades, en el trabajo de Jobbágy y Jackson (2003) la disminución se da en los primeros 35 cm de suelo y es de 1 unidad de pH, y en el trabajo de Carrasco-Letelier et al. (2004) de 0,27 unidades, pero sólo se estudió un horizonte superficial.

En relación con Al intercambiable, los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos por Pérez Bidegain et al. (2001a), Aparicio (2003), Jobbágy y Jackson (2003), que encontraron un aumento de la acidez intercambiable en la situación bajo monte. Aparicio (2003) informa de un aumento de la acidez intercambiable del orden de 191 a 403%, valores que son muy superiores a los encontrados en el presente trabajo donde se registraron aumentos de entre 72 a 146%.

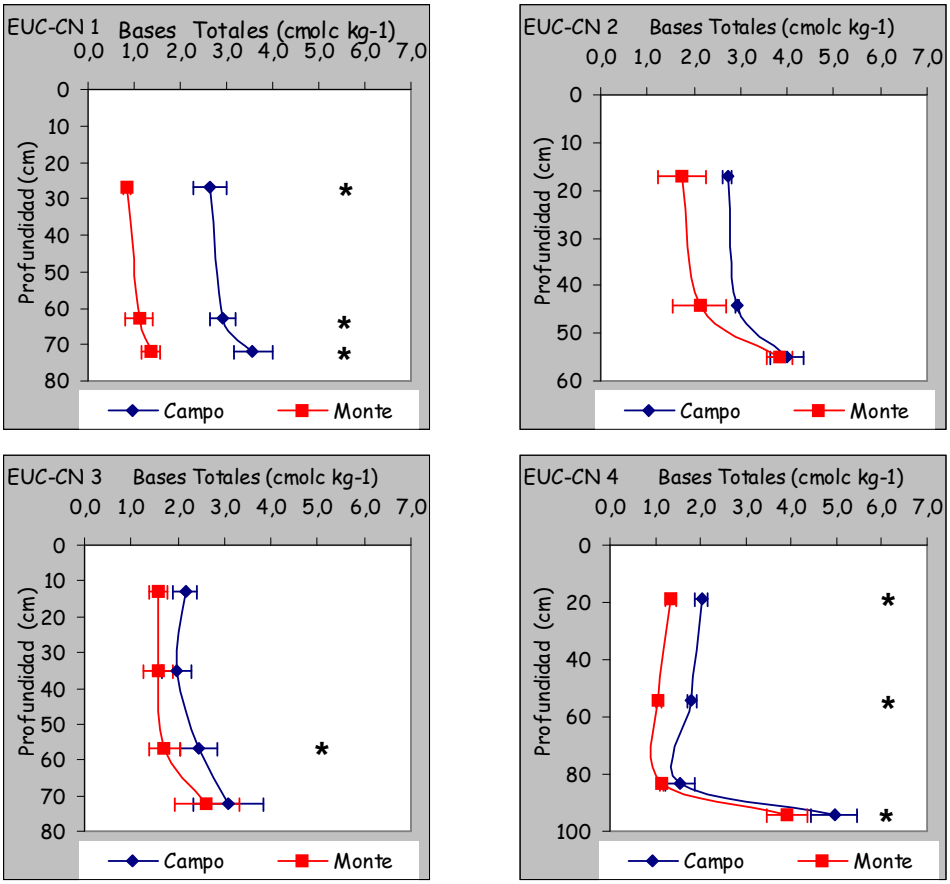
4.2.1.2. Contenido de bases de intercambio: bases totales, Ca, Mg, K, y Na.

En el cuadro 18 se ve que se encontraron diferencias significativas entre usos para el contenido de Ca, Mg, K, y Na, para el promedio de los cuatro sitios; viéndose que disminuyen bajo monte con respecto a campo, en el horizonte A en 53, 39, 35, y 22% respectivamente, y en el Bt 32, 14, 47, y 12% respectivamente. Al mismo tiempo se encontró interacción uso por sitio en el horizonte A sólo para Ca y K, y en el horizonte Bt para todas las bases, lo que indica que el pasaje de campo natural a forestación con *E. grandis* actúa con distinta intensidad según el sitio en dichos casos.

Para el contenido de bases totales, se encontraron diferencias significativas entre usos en los horizontes A y Bt, para el promedio de los cuatro sitios; viéndose que disminuye bajo monte, en el horizonte A de 2,354 a 1,336 $cmol_c\ kg^{-1}$ (una disminución de 43%), y en Bt de 3,822 a 2,819 $cmol_c\ kg^{-1}$ (una disminución de 26%). A su vez, se encontró interacción uso por sitio en ambos horizontes, lo que indica que la disminución en ambos horizontes del contenido de bases totales no fue de la misma magnitud en todos los sitios (ver cuadro 18).

Teniendo en cuenta sitio por sitio, y horizonte por horizonte, para bases de intercambio y contenido de bases totales, no siempre se encontraron diferencias significativas en todos los casos, pero cuando fue así, siempre fueron menores bajo monte (ver cuadros 3 a 6 de los anexos y figura 4). De todas maneras el contenido de bases totales siempre fue menor bajo monte, aunque no siempre existieron diferencias significativas.

Como se ve en el cuadro 19 se encontró interacción uso por horizonte, para el Ca, en los sitios 2 y 4; para el Mg en los sitios 1 y 2; para K en los sitios 1, 2, y 3; y para Na, en los sitios 1 y 3. Esto significa que en estos sitios, las bases fueron afectadas de forma diferente por el uso según el horizonte, lo que quiere decir que hay horizontes en donde la magnitud de las disminuciones del contenido de bases puede ser mayor o menor que en otros.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 4. Contenido de bases totales en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*.

Para el promedio de los sitios, los resultados son coincidentes con lo mencionado por Aparicio (2003), aunque observando sitio a sitio, esto no siempre es así, ya que en muchos casos a pesar de encontrarse menor contenido de bases en monte, estas disminuciones no son significativas.

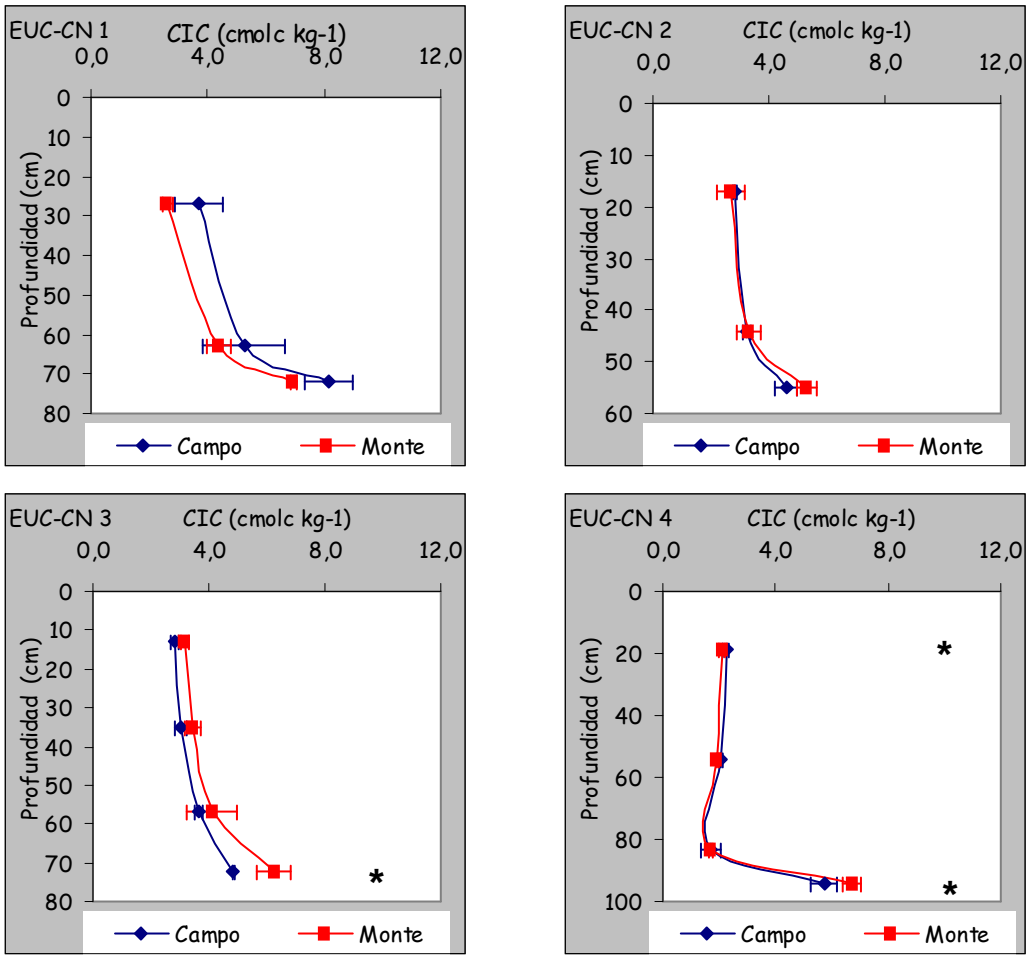
Para Ca, los resultados son coincidentes con lo expuesto por Jobbágy y Jackson (2003) para el promedio de los sitios, aunque sitio a sitio no siempre es así. Dicho autor encontró una disminución de 40% bajo monte, mientras que el actual trabajo la disminución es de entre 32 y 53%. Para Na los resultados no están de acuerdo con lo dicho por Jobbágy y Jackson (2003), ya que en el presente trabajo se registra una disminución en el contenido de Na, y no un aumento como lo menciona Jobbágy, aunque cabe aclarar que el trabajo de dicho autor se llevó a cabo en un clima semi-árido, y ese aumento se debió a que el Na es transportado de las capas inferiores a las superiores en el agua absorbida por los árboles, permaneciendo allí sin perderse por absorción y/o evapotranspiración; y para Mg y K, cuando existieron cambios, los valores fueron siempre menores bajo monte, y no en ambas direcciones de acuerdo a lo dicho por Jobbágy y Jackson (2003).

4.2.1.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Como se ve en el cuadro 18 para el promedio de los cuatro sitios, en el horizonte A la CIC pasa de valores de 2,875 en campo a 2,621 $cmol_c\ kg^{-1}$ en monte, esa disminución no es significativa, aunque muestra cierta tendencia. Sí se encontraron diferencias en el horizonte Bt, viéndose que aumenta bajo monte de 5,688 a 6,035 $cmol_c\ kg^{-1}$ (un aumento de 6%). A su vez se encontró interacción uso por sitio en los horizontes A y Bt, lo que indica que hay sitios que son más susceptibles al cambio de uso de pastoril a forestal.

Cuando se observa la CIC para los sitios individualmente se ve que no existe una tendencia clara en cuanto a su comportamiento, ya que en los casos en que las diferencias son significativas entre usos, estas pueden ser tanto en un sentido u otro al cambiar el uso, es decir aumentar o disminuir al pasar de uso pastoril a forestal (ver cuadros 3 a 6 de los anexos y figura 5).

En el cuadro 19 se ve que se encontró interacción uso por horizonte en los sitios 3 y 4, mostrando que en estos sitios, esta propiedad fue afectada por el uso con distinta intensidad en los diferentes horizontes.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 5. Capacidad de intercambio catiónico en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*.

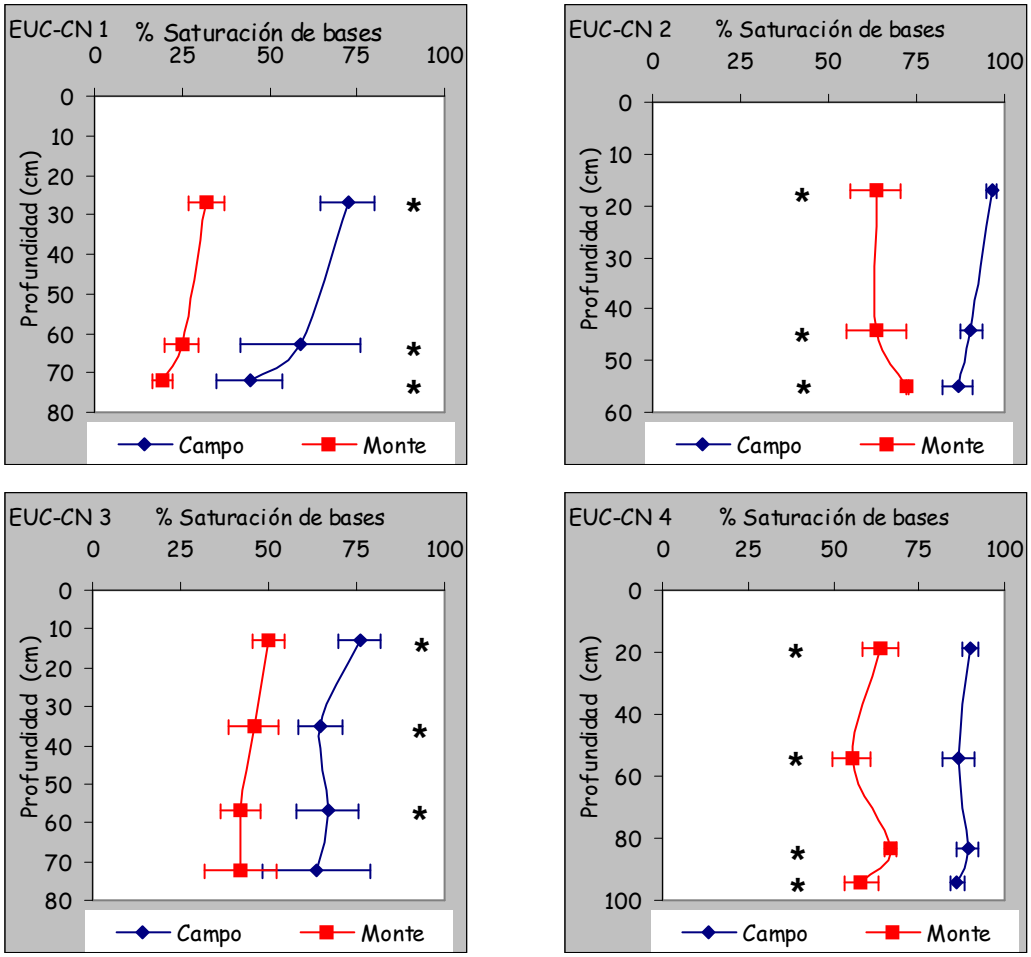
Para la CIC los resultados obtenidos para el promedio de los sitios están de acuerdo con lo observado por Jobbágy y Jackson (2003), ya que se ve una disminución de la misma al pasar de uso pastoril a forestal. Cuando se ven los resultados para los sitios individualmente, no siempre es así, ya que pueden existir aumento o disminución bajo monte, o no existir cambios.

4.2.1.4. Porcentaje de saturación en bases.

Como se ve en el cuadro 18 se encontraron diferencias significativas entre usos en los horizontes A y Bt, para el promedio de los cuatro sitios; viéndose que al pasar de uso pastoril a forestal disminuye el porcentaje de saturación en bases de 83,2 a 51,2% en el horizonte A (32 unidades porcentuales), y de 70,7 a 48,0% en Bt (22,7 unidades porcentuales).

En los cuadros 3 a 6 de los anexos se indican diferencias significativas entre usos para todos los horizontes de los cuatro sitios, observándose una disminución en el porcentaje de saturación en bases bajo monte. También puede observarse lo mismo en la figura 6.

Sólo se encontró interacción uso por horizonte en el sitio 2, por lo tanto el uso afecta con distinta intensidad según el horizonte en dicho sitio (ver cuadro 19).



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 6. Porcentaje de saturación en bases en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*.

Para el porcentaje de saturación en bases los resultados están de acuerdo con los obtenidos por Jobbágy y Jackson (2003), existiendo una disminución de la misma con el cambio de uso de pastoril a forestal.

4.2.1.5. Carbono orgánico.

Para el contenido de carbono orgánico, como se ve en el cuadro 18, no se encontraron diferencias significativas entre usos en los horizontes A y Bt, para el promedio de los cuatro sitios, por lo que no varia bajo monte; con

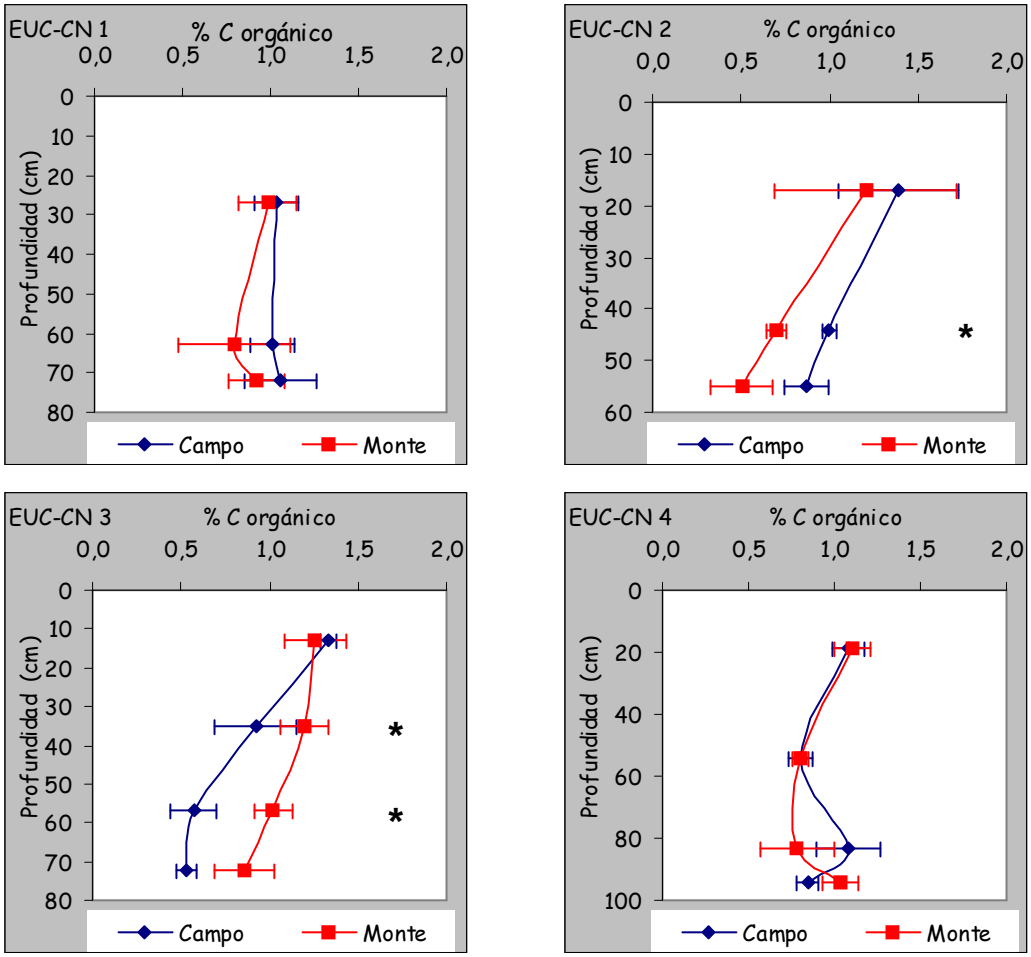
valores en el horizonte A de 1,174% en campo y 1,102% en monte, y en Bt de 0,832% en campo y 0,850% en monte.

En la figura 7 se ven las graficas para el contenido de carbono orgánico para cada uno de los sitios de *E. grandis* vs. campo natural según la profundidad.

En el cuadro 4 de los anexos se ve que, en el sitio 2 se encontraron diferencias significativas entre usos sólo en el horizonte AB para el porcentaje de carbono orgánico, viéndose que disminuye en monte.

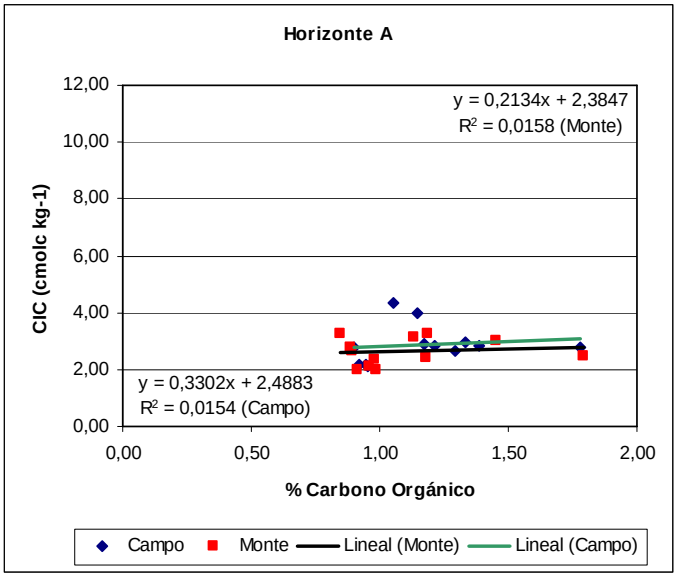
En el sitio 3 se encontraron diferencias significativas entre usos en los horizontes AB y Bt1, para el porcentaje de carbono orgánico, viéndose que aumenta en monte; y se encontró una tendencia a que sea mayor en campo en Bt2 (ver cuadro 5 de los anexos).

Como se ve en el cuadro 19 sólo se encontró interacción uso por horizonte, en los sitios 3 y 4, lo que indica que el uso actúa con distinta intensidad según horizonte, lo que quiere decir que algunos horizontes son más susceptibles al cambio de uso.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 7. Porcentaje de carbono orgánico en función de la profundidad para los cuatro sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *E. grandis*.



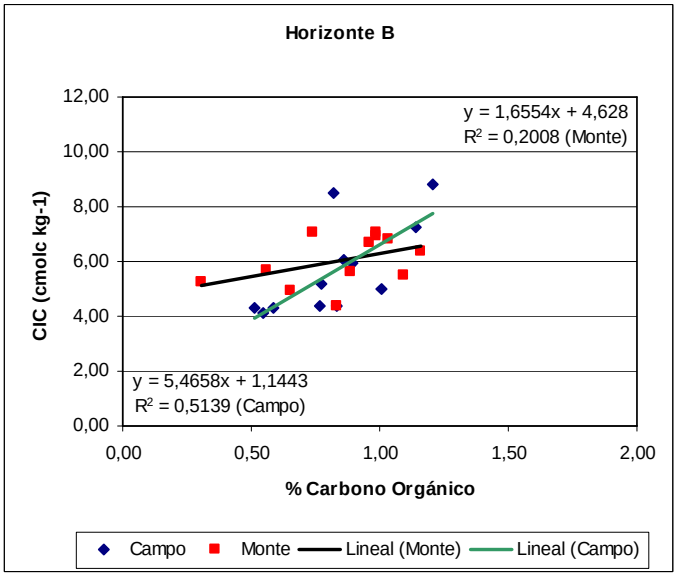


Figura 8. Relación entre el contenido de carbono orgánico y la CIC para los horizontes A y B de todos los sitios de *E. grandis* vs. campo natural.

En la figura 8 se ve la relación entre el contenido de carbono orgánico y la CIC para los horizontes A y B de todos los sitios, y se ve que la correlación entre estas es mayor en el horizonte B que en A.

Para el contenido de carbono orgánico en los horizontes A y Bt para el promedio de los sitios no se registraron cambios al pasar de uso pastoril a

forestal. Estos resultados no están de acuerdo con lo observado por Cozzo y Riveros (1969), Jobbágy y Jackson (2003), Hill et al. (2004), quienes encontraron mayor contenido de carbono bajo suelos con eucaliptos que sobre pasturas. Ni tampoco con los resultados de García Prechác et al. (2001), Pérez Bidegain et al. (2001a), Aparicio (2003), Carrasco-Letelier et al. (2004), quienes encontraron un menor contenido de carbono con el cambio de uso de pastoril a forestal.

Estos autores realizaron muestras de suelos en los primeros centímetros del perfil, con la excepción de Hill quien muestreó hasta 60 cm, pero a diferentes intervalos, mientras que en el presente trabajo se tomaron muestras representativas de cada horizonte, sin considerar intervalos más pequeños dentro de cada horizonte. En el caso de que existiera estratificación en el contenido de carbono orgánico, sobretodo bajo monte, esta se vería enmascarada por el tipo de muestreo realizado. Los trabajos mencionados, sin embargo, tuvieron en cuenta esta estratificación para los primeros centímetros de suelo, razón por la cual acusaron cambios en el contenido de carbono bajo monte. Tampoco en el presente trabajo se consideró el horizonte orgánico O, y solo se extrajeron muestras en el suelo mineral.

Dado los resultados en carbono orgánico, el aumento en la CIC para el horizonte Bt para el promedio de los sitios, no estaría explicado por un aumento en el contenido del carbono orgánico.

4.2.2. Propiedades físicas.

En el cuadro 20 se indican los valores promedio de las propiedades físicas evaluadas para los dos usos de tres de los cuatro sitios, para las tres profundidades estudiadas. En los anexos se muestran los datos individuales para cada suelo por horizonte.

Cuadro 20. Propiedades físicas para el promedio de los sitios 1, 2, y 4 de *E. grandis* vs. campo natural según horizonte y uso, significación estadística entre usos e interacción uso por sitio, según horizonte.

PROPIEDAD			HORIZONTE											
			5-10 cm A				25-30 cm A				Parte superior Bt			
			Uso		Pr > F		Uso		Pr > F		Uso		Pr > F	
			Campo	Monte	Uso	IntUsoSit	Campo	Monte	Uso	IntUsoSit	Campo	Monte	Uso	IntUsoSit
DAP (g cm^{-3})			1,412	1,495	*0,1287*	*0,0579*	1,480	1,506	*0,2240*	*0,9135*	1,498	1,575	*0,0962*	*0,0783*
0,10	bar	%HV	25,4	22,7	*0,0436*	*0,0838*	18,4	19,4	*0,0377*	*0,3174*	34,7	32,6	*0,0047*	*0,0024*
0,33			18,9	13,3	*0,0024*	*0,1017*	13,6	13,4	*0,6262*	*0,1208*	33,5	31,2	*0,0200*	*0,0041*
1,00			14,6	11,1	*0,0149*	*0,2164*	10,9	11,2	*0,7014*	*0,5989*	31,8	29,9	*0,0482*	*0,0055*
3,00			11,4	8,5	*0,0090*	*0,0520*	8,7	8,6	*0,8879*	*0,5507*	30,4	28,9	*0,4378*	*0,2930*
Porosidad Total		%	46,7	43,6	*0,1292*	*0,0583*	44,1	43,2	*0,2288*	*0,9173*	43,5	40,6	*0,0969*	*0,0777*
Macroporosidad			21,3	20,9	*0,8156*	*0,0099*	25,7	23,8	*0,0197*	*0,5946*	8,7	8,0	*0,6963*	*0,0197*
K (cm h^{-1})			10,1	9,7	*0,9266*	*0,9700*	3,2	7,4	*0,0040*	*0,0530*	0,5	1,6	*0,3942*	*0,2731*

4.2.2.1. Densidad aparente.

Como se ve en el cuadro 20 para el promedio de los tres sitios, la densidad aparente fue mayor en monte cualquiera sea la profundidad, aunque la diferencia entre usos fue significativa sólo en el horizonte Bt, y se encontró una tendencia en los 5-10 cm del A. Al cambiar de uso pastoril a forestal la densidad pasa de 1,412 a 1,495 g cm^{-3} en los 5-10 cm del horizonte A, de 1,480 a 1,506 g cm^{-3} en los 25-30 cm del A, y de 1,498 a 1,575 g cm^{-3} en el Bt. Se observa que los mayores valores de densidad se dan en el horizonte Bt, cualquiera sea el uso.

En los cuadros 7 a 9 de los anexos se ve que se encontraron diferencias significativas entre usos, en el horizonte Bt del sitio 1 y en los 5-10 cm del horizonte A del sitio 4, y una tendencia en el Bt del sitio 2; viéndose bajo monte, un aumento de la densidad.

En aquellos casos en donde las diferencias fueron significativas, los resultados están de acuerdo con lo expresado por Pérez Bidegain et al. (2001a), siendo la densidad aparente bajo montes de eucaliptos mayor.

4.2.2.2. Porosidad total y macroporosidad.

Para el promedio de los tres sitios, el porcentaje de porosidad total fue menor bajo monte cualquiera sea la profundidad, aunque sólo se encontraron diferencias significativas entre usos en el horizonte Bt, y una tendencia a la disminución bajo monte en los 5-10 cm del horizonte A. También se encontró interacción uso por sitio en el Bt, lo que indica que el uso actúa de distinta manera según el sitio. Los valores encontrados varían en el rango de 40 a 46%, estando los mayores en los primeros centímetros de suelo (ver cuadro 20).

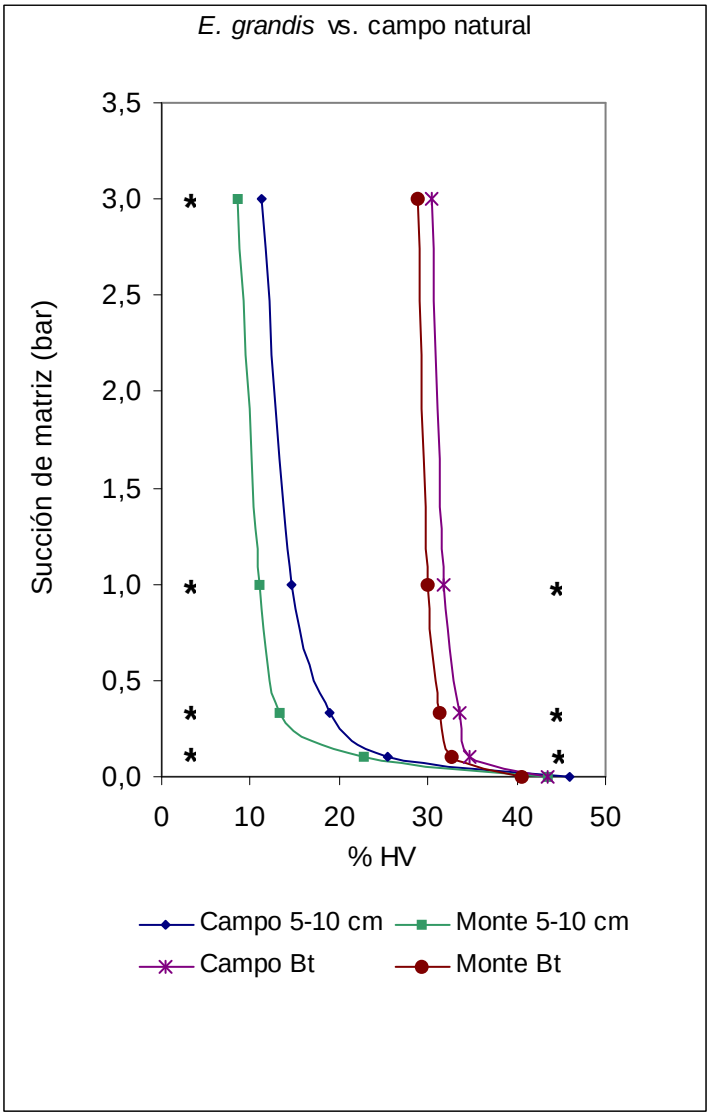
Como se ve en los cuadros 7 a 9 de los anexos, se encontraron diferencias significativas entre usos en los sitios 1 y 4; viéndose que bajo monte, hay una disminución de la porosidad total en el Bt del sitio 1 y en los 5-10 cm del horizonte A del sitio 4, y una tendencia a la disminución en monte en el Bt del sitio 2.

La macroporosidad como se ve en el cuadro 20 para el promedio de los sitios, fue menor bajo monte cualquiera sea la profundidad, aunque sólo se encontraron diferencias significativas entre usos en los 25-30 cm. Los mayores valores de macroporosidad se dan en los horizontes superficiales del suelo, cualquiera sea el uso.

En el cuadro 7 de los anexos se ve que, se encontraron diferencias significativas entre usos en el sitio 1; viéndose que la macroporosidad bajo monte, disminuye en los 25-30 cm del horizonte A y en el Bt, y aumenta en los 5-10 cm del A.

Como se ve en el cuadro 9 de los anexos, se encontraron diferencias para el sitio 4, viéndose bajo monte, una disminución de la macroporosidad en los 5-10 cm del horizonte A y un aumento en el Bt, y una tendencia a la disminución bajo monte en los 25-30 cm.

4.2.2.3. Retención de agua.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 9. Curvas de retención de agua para el promedio de los sitios 1, 2, y 4 de *E. grandis* vs. campo natural a las profundidades de 5-10 cm del horizonte A y parte superior del horizonte Bt.

Para el promedio de los tres sitios, se encontraron diferencias significativas entre usos para las tres profundidades estudiadas; viéndose bajo monte, una disminución para las cuatro medidas de retención hechas en el suelo a los 5-10 cm, y disminución de la retención en el Bt bajo monte (excepto

a 3 bar). En todos esos casos se encontró interacción uso por sitio (excepto para 0,33 y 1 bar a los 5-10 cm), lo que indica que el uso influye de distinta manera según el sitio. También se constató que los mayores valores de retención se dan en el horizonte Bt, cualquiera sea el uso (ver cuadro 20).

La disminución en la retención de agua fue de 2,7, 5,6, 3,4, y 2,9 L m^{-2} 10 cm de espesor de suelo, a la profundidad de 5-10 cm en el horizonte A a las succiones de matriz de 0,1, 0,33, 1, y 3 bar respectivamente. En tanto que en el horizonte Bt la disminución fue de 2,1, 2,3, y 1,9 L m^{-2} 10 cm de espesor de suelo, para las succiones de matriz de 0,1, 0,33, y 1 bar respectivamente.

En los cuadros 7 a 9 de los anexos, se ven los resultados para cada uno de los sitios.

Menores retenciones de agua son atribuidas según Musto, citado por Salvo et al. (2005) a la existencia de sustancias que provocan hidrofobicidad y cambios en la distribución del tamaño de los poros.

En los casos que existen diferencias, los valores de retención son menores bajo monte para los 5-10 cm del horizonte A y para el horizonte Bt, y mayores bajo monte en los 25-30 cm del A. En los casos en que la retención es menor bajo monte, confirman lo dicho por Pérez Bidegain et al. (2001a, 2001b), Hill et al. (2004), Salvo et al. (2005), quienes encontraron menor capacidad de retención de agua bajo eucaliptos que bajo pasturas.

4.2.2.4. Conductividad hidráulica.

Como se ve en el cuadro 20, se encontraron diferencias significativas entre manejos sólo para los 25-30 cm del horizonte A, para el promedio de los sitios; viéndose que aumenta al pasar de uso pastoril a forestal; también se encontró interacción manejo por sitio, lo que indica que el manejo actúa de distinta manera según el sitio. Los mayores valores de conductividad hidráulica se dan en el horizonte A, cualquiera sea el manejo.

En los cuadros 7 a 9 de los anexos se ve que se encontraron diferencias significativas entre manejos en los sitios 1 y 4; viéndose que bajo

monte, la conductividad aumenta en los 25-30 cm del horizonte A de los sitios 1 y 4, y en el Bt del sitio 4.

Cuando se observan diferencias significativas, son en base a mayores valores en monte, coincidiendo en estos casos con lo expresado por Soni et al., citados por De Paula Lima (1996).

Según Durán (1991a) los métodos de laboratorio para medir conductividad no arrojan resultados enteramente confiables, ya que las condiciones en que se miden no reproducen con exactitud el fenómeno de la percolación tal como ocurre en los suelos en el campo. Esto se debe en gran parte a la perturbación que sufren las muestras al ser trasladadas a laboratorio y a su reducido volumen.

Lo dicho por Durán (1991a) se confirma a través de los coeficientes de variación promedios obtenidos para los resultados de conductividad hidráulica en este trabajo. Como se ve en el cuadro 21 los coeficientes de variación promedio son bastantes altos, esto determina que halla un sesgo en la información.

Cuadro 21. Coeficientes de variación (%) promedios de conductividad hidráulica para las distintas profundidades evaluadas para los sitios de *E. grandis* vs. campo natural.

Uso	Profundidad		
	5-10 cm del A	25-30 cm del A	Bt
Campo	25	45	67
Monte	58	52	104

4.3. PLANTACIONES DE *Pinus taeda* PARA ASERRADO VS. USO PASTORIL.

En el cuadro 22 se indican los valores promedio de las propiedades químicas evaluadas para los dos usos, para los horizontes A y B de los suelos estudiados de los cinco sitios de *P. taeda* vs. campo natural. El cuadro 23 muestra las probabilidades de F para la interacción uso por horizonte de todos los sitios de *P. taeda* vs. campo natural. En los anexos se muestran los datos individuales para cada suelo por horizonte.

4.3.1. Propiedades químicas.

Cuadro 22. Propiedades químicas para el promedio de los cinco sitios de *P. taeda* vs. campo natural según horizonte y uso, y significación estadística entre usos e interacción uso por sitio, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE							
		A				Bt			
		Uso		Pr > F		Uso		Pr > F	
		Campo	Monte	Uso	IntUsoSit	Campo	Monte	Uso	IntUsoSit
pH(H_20)		4,82	4,50	*0,0001*	*0,0200*	4,73	4,54	*0,0013*	*0,1127*
pH(KCl)		3,82	3,69	*0,0004*	*0,0728*	3,64	3,57	*0,0101*	*0,1094*
Ca	$cmol_c\ g^{-1}$	0,656	0,807	*0,0001*	*0,0001*	2,327	2,350	*0,8876*	*0,0921*
Mg		0,267	0,289	*0,1486*	*0,0224*	1,057	1,027	*0,5748*	*0,0120*
K		0,179	0,150	*0,0030*	*0,0100*	0,377	0,360	*0,4163*	*0,0135*
Na		0,351	0,347	*0,7358*	*0,4373*	0,377	0,430	*0,0299*	*0,0377*
BT		1,447	1,589	*0,0034*	*0,0006*	4,139	4,167	*0,8971*	*0,0868*
Al		0,609	0,935	*0,0001*	*0,0011*	2,033	3,128	*0,0006*	*0,0095*
CIC		2,054	2,523	*0,0001*	*0,0001*	6,172	7,295	*0,0009*	*0,0196*
SB	%	71,4	63,4	*0,0002*	*0,0172*	67,8	61,9	*0,0208*	*0,0128*
Corg		1,121	0,989	*0,2304*	*0,3050*	0,947	1,053	*0,1006*	*0,2125*

Cuadro 23. Probabilidades del valor de F para la interacción uso por horizonte de los sitios de *P. taeda* vs. campo natural.

PROPIEDAD	Sitio				
	1	2	3	4	5
	IntUsoHor	IntUsoHor	IntUsoHor	IntUsoHor	IntUsoHor
pH (H2O)	*0,4547*	*0,6415*	*0,0605*	*0,4748*	*0,0784*
pH(KCl)	*0,0235*	*0,3577*	*0,1500*	*0,0007*	*0,1831*
Ca	*0,0204*	*0,1255*	*0,0293*	*0,0001*	*0,8597*
Mg	*0,0144*	*0,4940*	*0,0066*	*0,0001*	*0,9248*
K	*0,2248*	*0,0107*	*0,0361*	*0,0006*	*0,1993*
Na	*0,1215*	*0,2740*	*0,0379*	*0,2953*	*0,1537*
BT	*0,0429*	*0,0839*	*0,0433*	*0,0001*	*0,8834*
Al	*0,0026*	*0,0561*	*0,0234*	*0,0295*	*0,9187*
CIC	*0,0548*	*0,0222*	*0,0045*	*0,0006*	*0,9504*
SB	*0,7241*	*0,0323*	*0,4372*	*0,0002*	*0,5555*
Corg	*0,3190*	*0,6996*	*0,1290*	*0,2645*	*0,6628*

4.3.1.1. Acidez del suelo: pH (en H_2O y KCl) y acidez intercambiable (Al).

Como se ve en el cuadro 22, se encontraron diferencias significativas para el pH (en H_2O y en KCl) entre usos en los horizontes A y Bt, para el promedio de los cinco sitios; viéndose que disminuye bajo monte, para pH en H_2O de 4,82 a 4,50 (0,32 unidades) en el horizonte A y de 4,73 a 4,54 (0,19 unidades) en el Bt, y para pH en KCl de 3,82 a 3,69 (0,13 unidades) en el horizonte A y de 3,64 a 3,57 (0,07 unidades) en Bt. Sólo se encontró interacción uso por sitio en el horizonte A, lo que indica que hay sitios en donde la magnitud de la disminución del pH es mayor que en otros, por ser más sensibles al cambio de uso de pastoril a forestal.

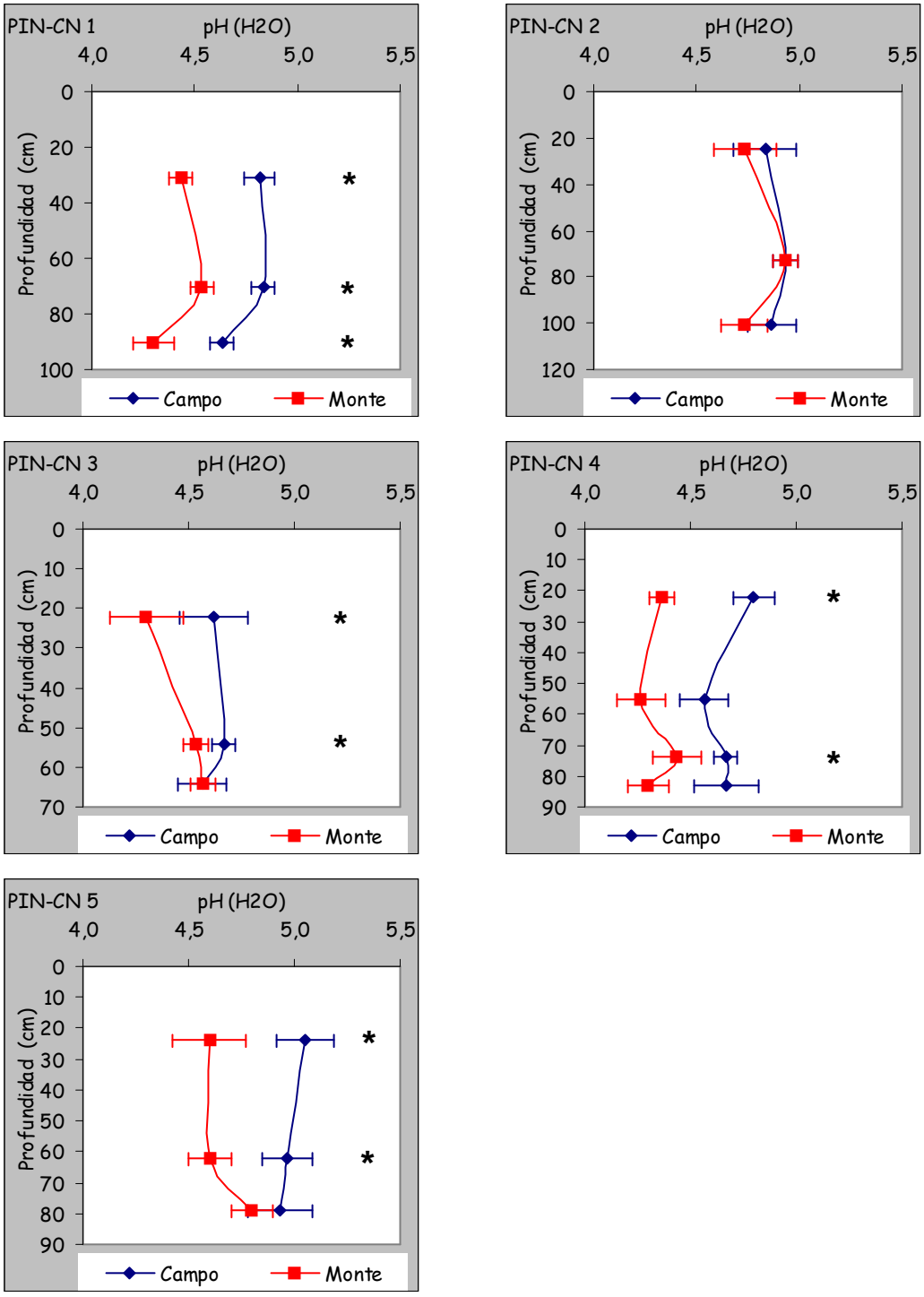
En el cuadro 22 se puede ver que se encontraron diferencias significativas para el contenido de Al entre usos en los horizontes A y Bt, para el promedio de los cinco sitios; viéndose que aumenta bajo monte, un 53% en el horizonte A al pasar de 0,609 a 0,935 $cmol_c\ kg^{-1}$ y un 54% en Bt al pasar de 2,033 a 3,128 $cmol_c\ kg^{-1}$. También se observó interacción uso por sitio en ambos horizontes, lo que indica que el uso influye de distinta manera dependiendo del sitio, es decir que hay sitios que son mas afectados por el pasaje de vegetación de campo natural a *P. taeda*.

Tanto para pH como para Al, se pueden ver los resultados de los sitios individualmente por horizonte en los cuadros 13 a 17 de los anexos y en las

figuras 10 a 12, allí se ve que en la mayoría de los sitios bajo monte el pH disminuye y el Al aumenta.

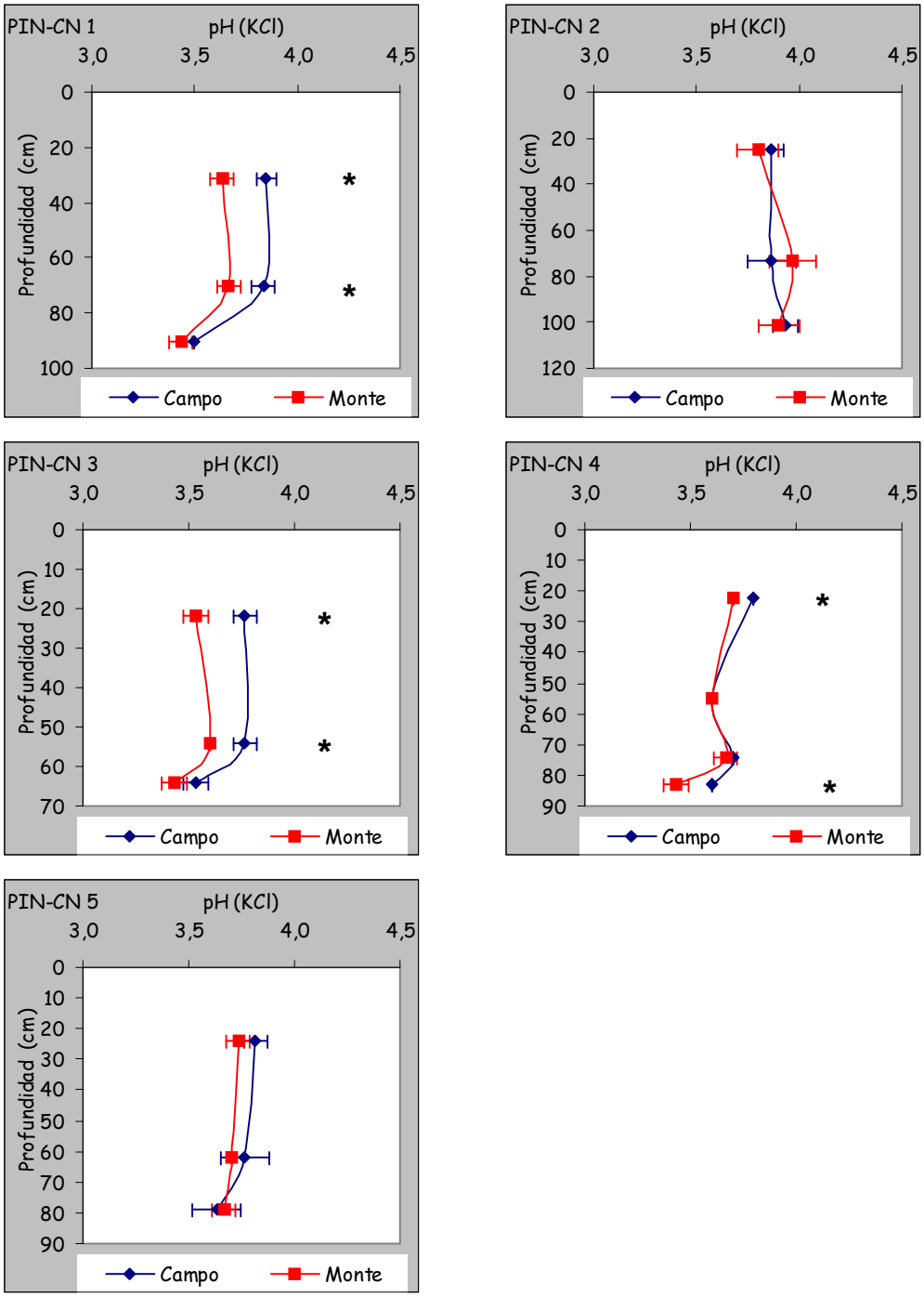
Para pH en agua sólo se encontró interacción uso por horizonte para los sitios 3 y 5, y para el pH en KCl se encontró interacción uso por horizonte en los sitios 1 y 4 (ver cuadro 23). Sabiendo que el pH (en H_2O y KCl) disminuye con el cambio de uso de pastoril a forestal, esto quiere decir que en los casos que hay interacción la magnitud de esa disminución no es la misma en todos los horizontes de los sitios afectados.

En el cuadro 23 se ve que para Al existió interacción uso por horizonte en todos los sitios (menos el 5), lo que indica que el uso influye de distinta manera en los distintos horizontes, siendo mayor el aumento en el contenido de Al en alguno de ellos bajo monte.



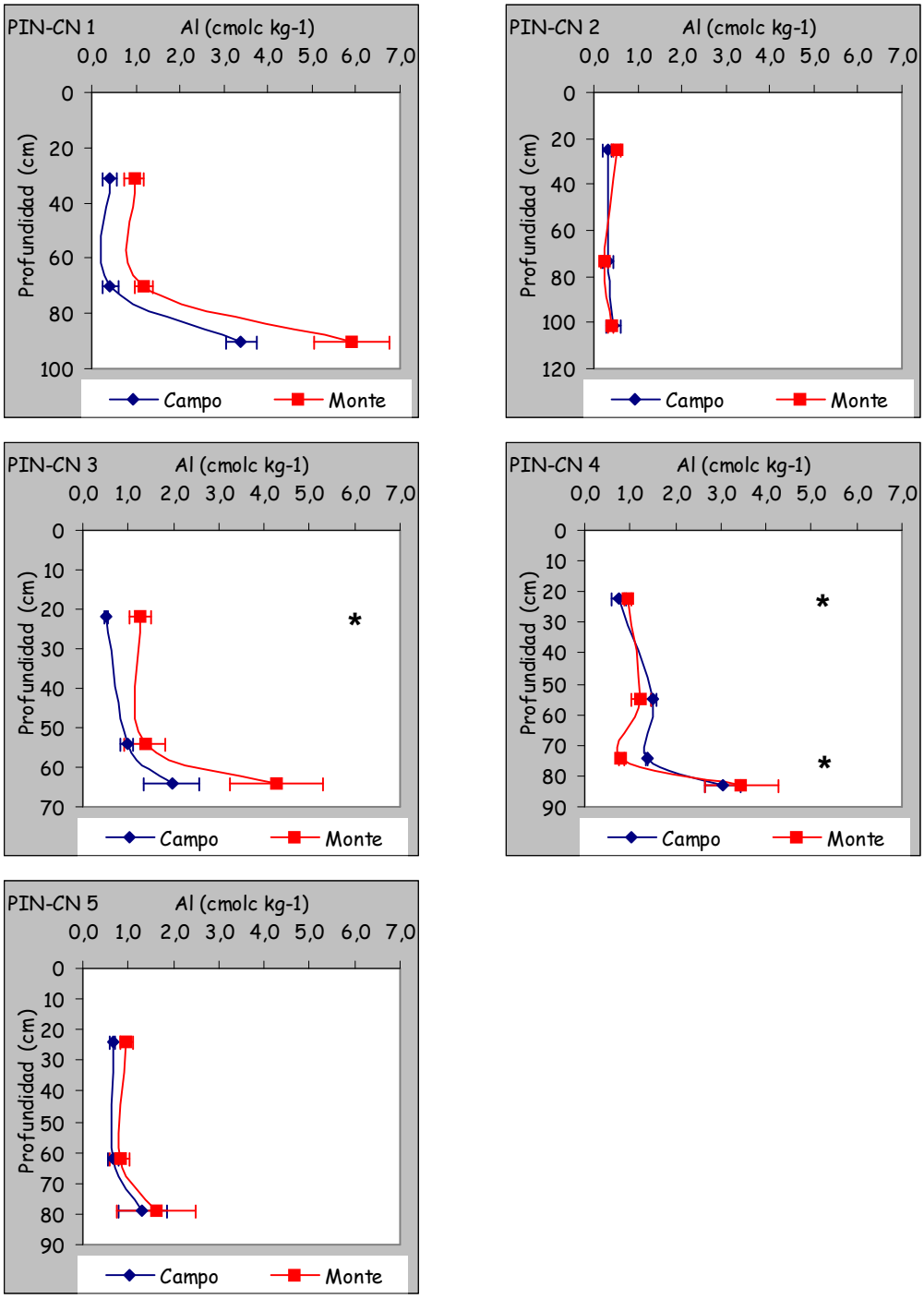
* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 10. pH al agua en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 11. pH al KCl en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 12. Contenido de Al en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*.

Para pH los resultados coinciden con lo observado por Davis (1994), Ritcher et al. (1994), De Vries et al., Van Breeman et al., citados por Parfitt et al. (1997), Ghani et al., citados por Giddens et al. (1997), Magwick, citado por Parfitt et al. (1997), Giddens et al. (1997), Parfitt et al. (1997), Dieste (1999), Farley y Kelly (2004). Todos estos autores registraron una disminución del pH bajo monte de pinos.

En este estudio se encontró una disminución del pH de 0,19 a 0,32 unidades bajo monte, mientras que en el estudio de Davis (1994) la disminución bajo monte fue de 0,2 unidades, y en el de Parfitt et al. (1997) fue de 0,4 unidades. El resto de los autores no mencionan las magnitudes de los cambios.

En contraposición con estos resultados, está lo observado por Candan et al. (2003) que no encontró ningún cambio en el pH, ni en la acidez intercambiable, al cambiar el uso del suelo.

Para el contenido de aluminio intercambiable al menos para el promedio de los sitios los resultados son coincidentes con lo expresado por Giddens et al. (1997), quien encontró un aumento bajo monte de pinos del aluminio.

4.3.1.2. Contenido de bases de intercambio: bases totales, Ca, Mg, K, y Na.

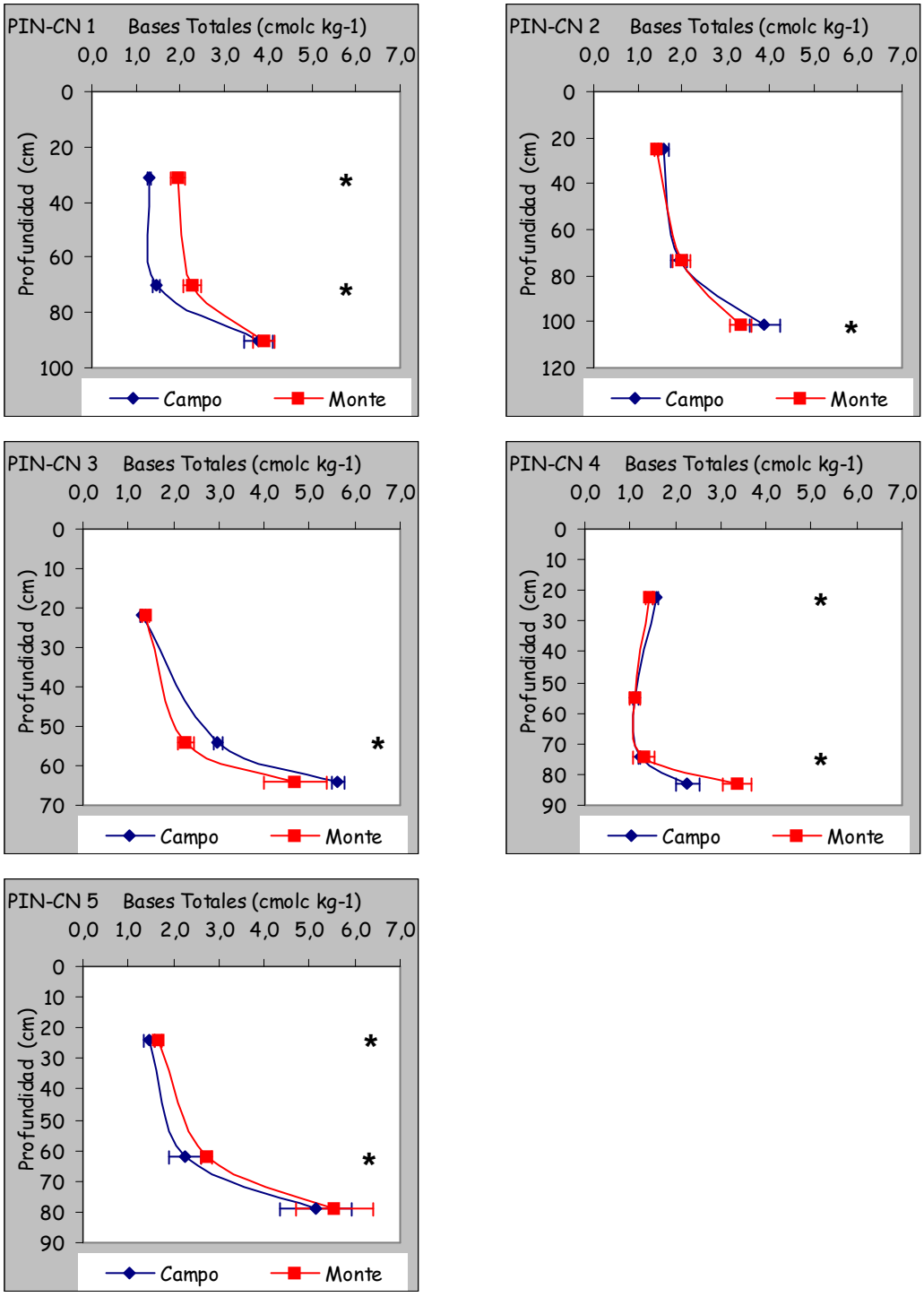
En el horizonte A se encontraron diferencias significativas entre usos sólo para los contenidos de Ca y K, para el promedio de los cinco sitios, viéndose que bajo monte, aumenta el Ca un 23% y disminuye el K un 16,2%; y existiendo interacción uso por sitio para ambas bases, lo que indica que el uso influye de distinta manera dependiendo del sitio. Para Mg se encontró una tendencia a que sea mayor bajo monte en el horizonte A. Para el horizonte Bt sólo se encontraron diferencias entre usos para Na, aumentando bajo monte un 14,1%, y existiendo interacción uso por sitio para dicha base (Ver cuadro 22).

Se encontró interacción uso por horizonte para Ca en los sitios 1, 3, y 4; para Mg en los sitios 3 y 4; para K en los sitios 2, 3, y 4; y para Na interacción uso por horizonte sólo en el sitio 3 (Ver cuadro 23).

Para el contenido de bases totales se encontraron diferencias significativas sólo en el horizonte A para el promedio de los 5 sitios, viéndose que aumenta de 1,447 a 1,589 $cmol_c\ kg^{-1}$ (8,9% de aumento) al cambiar de campo natural a monte de *P. taeda*. A su vez en dicho horizonte, se encontró interacción uso por sitio, lo que indica que algunos sitios el aumento en el contenido de bases totales bajo monte fue mayor que en otros, siendo por lo tanto mas susceptibles al cambio de uso (Ver cuadro 22). También se encontró interacción uso por horizonte en todos los sitios estudiados (excepto en el 5), esto quiere decir que no todos los horizontes responde de la misma manera al pasar de campo natural a forestación, y por lo tanto, el aumento en el contenido de bases totales, no es de la misma magnitud en todos los horizontes (ver cuadro 23).

Ese aumento del contenido de bases totales esta explicado porque existen dos sitios (1 y 5) en donde el contenido de bases es mayor bajo monte que en campo natural, lo que determina que cuando se calcula el promedio de bases totales para todos los sitios, estos dos tengan una gran influencia, provocando un sesgo en la media calculada.

Los resultados para los sitios individualmente se pueden ver en los cuadros 13 a 17 de los anexos y en la figura 13 se ve el contenido de bases totales para cada uno de los sitios.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 13. Bases totales en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*.

Para el promedio de los sitios el contenido de Ca aumenta bajo monte pero sólo en el horizonte A, esto se contrapone a lo visto por Davis (1994), Richter et al. (1994), Giddens et al. (1997).

El contenido de K disminuye para el promedio de los sitios bajo monte en el horizonte A, esto mismo observaron Davis (1994), Richter et al. (1994). Mientras que otros como Parfitt et al. (1997) encontraron una disminución del contenido de K bajo monte. A su vez Giddens et al. (1997) no encontraron cambios.

Para Mg bajo monte se encontró una tendencia al aumento en el horizonte A para el promedio de los sitios, lo cual esta de acuerdo con lo visto por Giddens et al. (1997), Parfitt et al. (1997). A su vez otros autores observaron una disminución bajo monte como Davis (1994), Richter et al. (1994).

Para Na se observó un aumento del mismo en el horizonte Bt bajo monte para el promedio de los sitios. Lo mismo observaron Giddens et al. (1997), Parfitt et al. (1997), aunque en los primeros centímetros de suelo.

El contenido de bases totales aumentó bajo monte sólo en el horizonte A para el promedio de los sitios, lo mismo observaron Candan et al. (2003). Dieste (1999) no pudo concluir que la forestación tuviera efecto sobre el contenido de bases totales. De los resultados del presente estudio tampoco surge un efecto claro en este sentido, ni en el total de bases, ni en los contenidos de cada una de ellas.

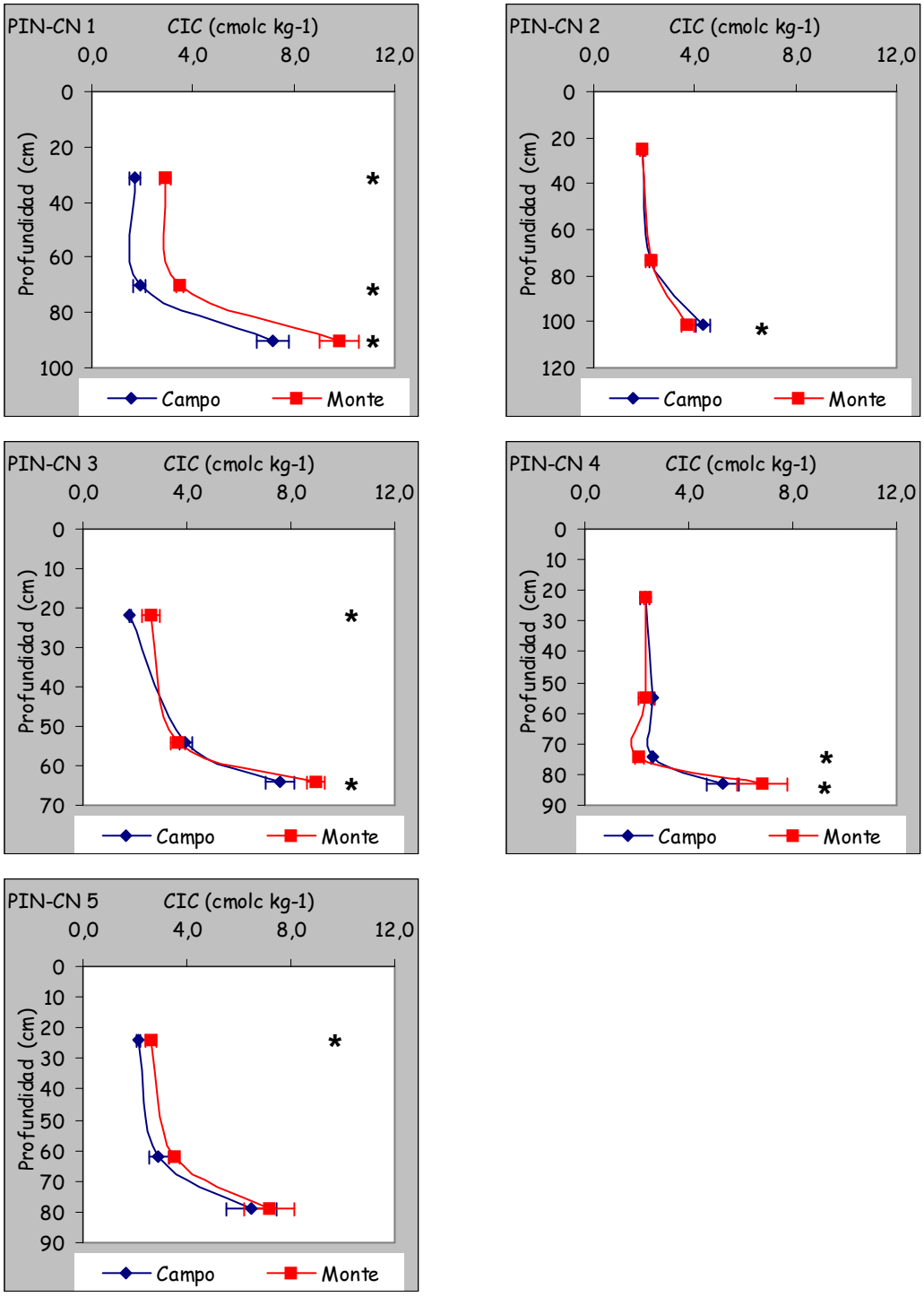
4.3.1.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Para la CIC se encontraron diferencias significativas entre usos en los horizontes A y Bt, para el promedio de los cinco sitios, aumentado bajo monte de 2,054 a 2,523 $cmol_c\ kg^{-1}$ (un aumento de 22,8%) en el horizonte A, y de 6,172 a 7,295 $cmol_c\ kg^{-1}$ en Bt (18,2% de aumento). A su vez se encontró interacción uso por sitio en ambos horizontes, lo que indica que el uso influye de distinta manera según el sitio (ver cuadro 22).

Este aumento en la CIC esta explicado por que se da un aumento en el contenido promedio de Al y en el contenido promedio de bases totales en el horizonte A. Este aumento en bases puede deberse a diferencias morfológicas del suelo en los sitios 1 y 5, donde el contenido de bases es mayor en dicho horizonte bajo monte (ver cuadros 13 y 17 de los anexos y figura 13), pudiendo existir mayor contenido de arcilla bajo monte en dichos sitios, provocando un sesgo en los valores promedios de bases totales. Mientras que en el horizonte Bt, el aumento en el contenido de Al explica el aumento en la CIC, sin haber existido cambios en el contenido de bases totales con el cambio de uso del suelo de pastoril a forestal.

En el cuadro 23, se puede ver que se encontró interacción uso por horizonte en los sitios 1, 2, 3, y 4 lo que indica que el uso influye de distinta manera según el horizonte, y no actúa con la misma intensidad en todos los horizontes de los sitios afectados.

Cuando se analizan los sitios individualmente, se ve que no existe una tendencia clara al pasar de uso pastoril a forestal, así se ve en los cuadros 13 a 17 de los anexos y en la figura 14.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 14. CIC en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*.

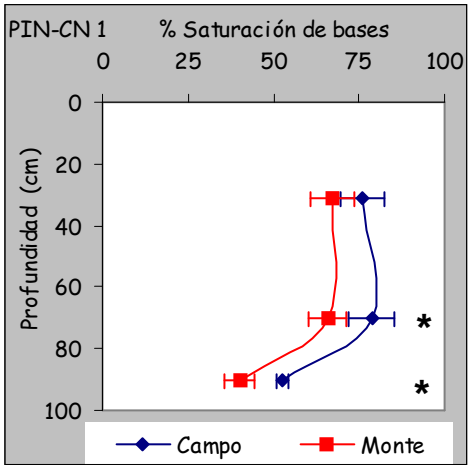
La CIC aumentó bajo monte tanto en el horizonte A, como en el Bt, para el promedio de los sitios. Dieste (1999) no pudo concluir sobre el efecto de la forestación sobre la CIC.

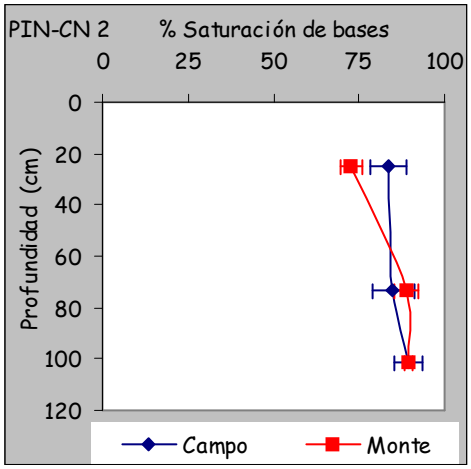
4.3.1.4. Porcentaje de saturación en bases.

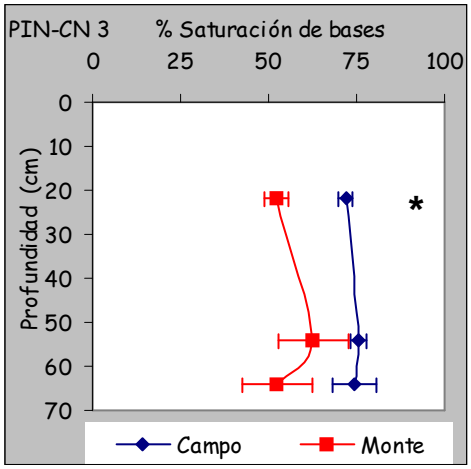
Como se ve en el cuadro 22, para el porcentaje de saturación en bases, se encontraron diferencias significativas entre usos en los horizontes A y Bt, para el promedio de los cinco sitios, viéndose que al pasar de uso pastoril a forestal disminuye en 8 unidades porcentuales en el horizonte A y 6 unidades porcentuales en Bt. A su vez se encontró interacción uso por sitio, lo que indica que el uso influye con distinta intensidad según el sitio.

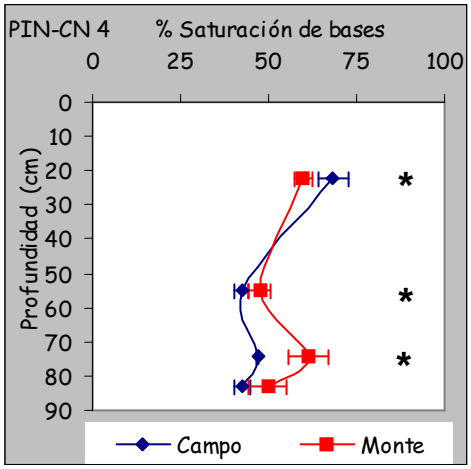
Para el porcentaje de saturación en bases sólo se encontró interacción uso por horizonte en el sitio 4 (ver cuadro 23).

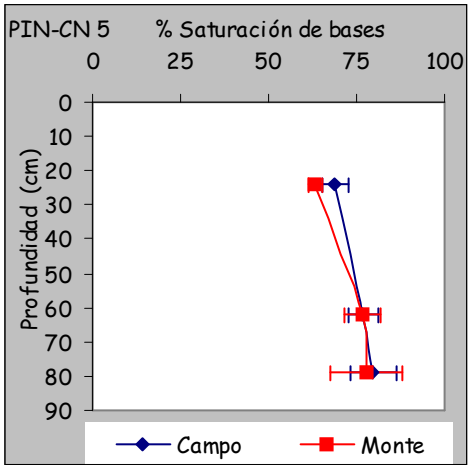
Los resultados sitio por sitio según horizonte se pueden ver en los cuadros 13 a 17 de los anexos y en la figura 15.











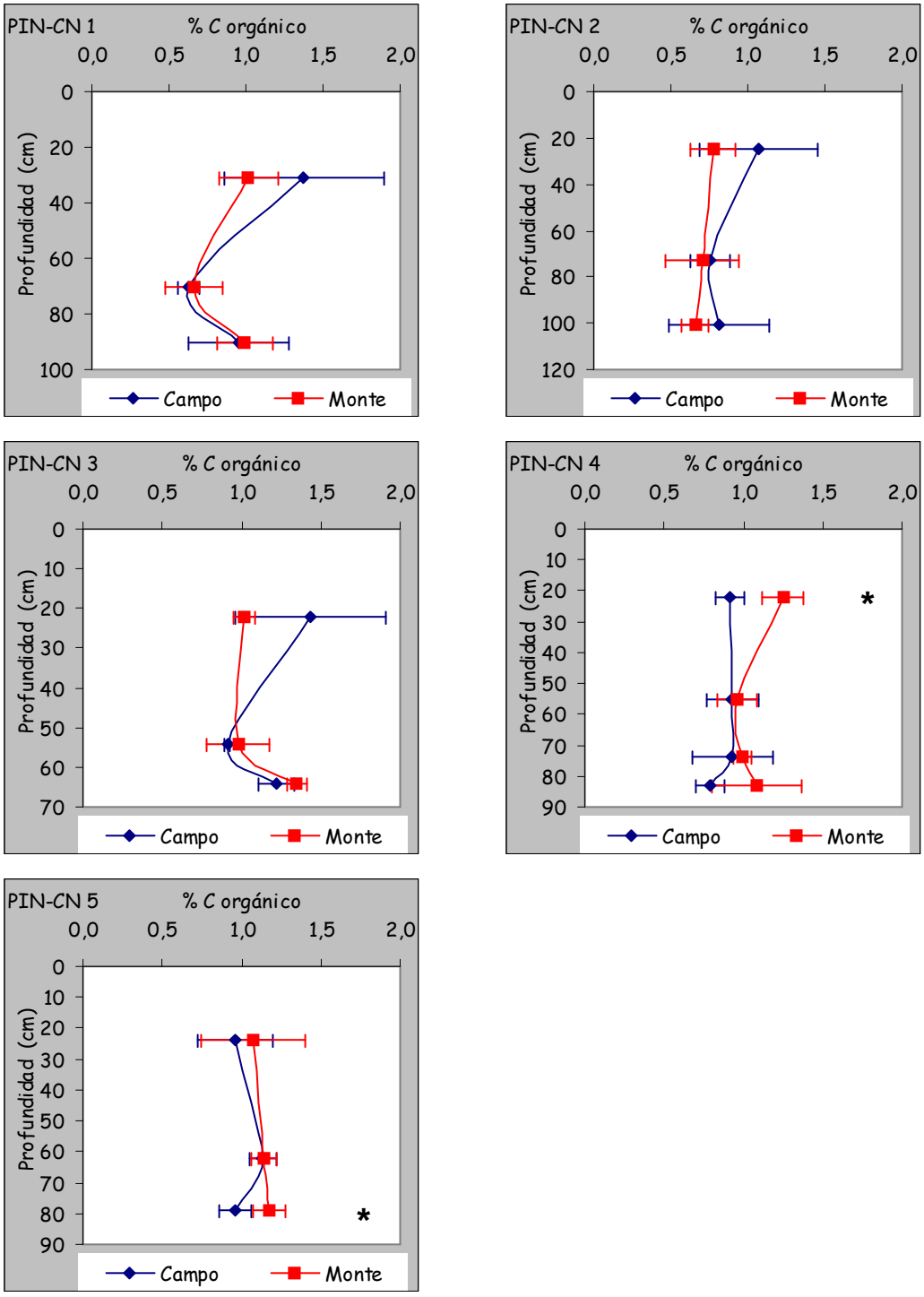
* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 15. Saturación en bases en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*.

4.3.1.5. Carbono orgánico.

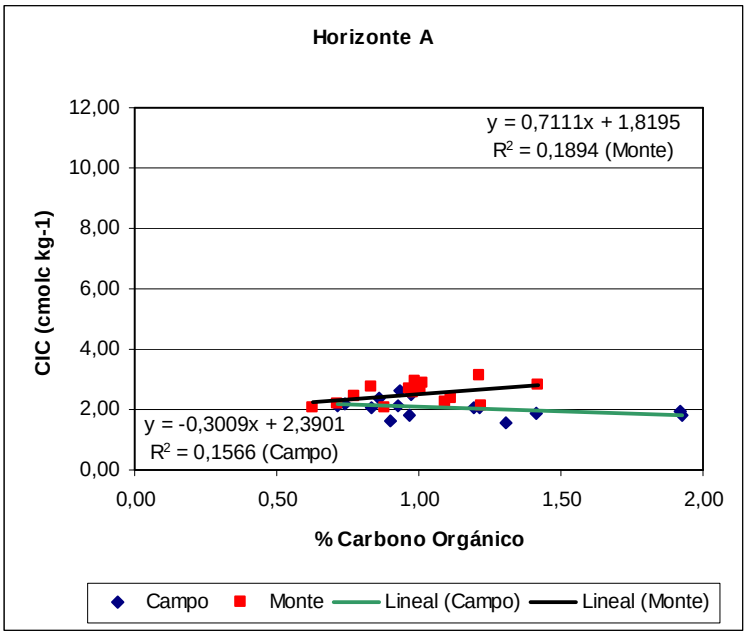
En el cuadro 22 se ve que, no se encontraron diferencias significativas entre usos en los horizontes A y Bt, para el promedio de los cinco sitios, aunque si se encontró en el horizonte Bt una tendencia al aumento del contenido bajo monte.

Sólo se encontraron diferencias significativas entre usos en el horizonte Bt del sitio 5 y Au1 del 4, viéndose que aumenta en monte, como se puede ver en los cuadros 13 a 17 de los anexos y figura 16.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 16. Carbono orgánico en función de la profundidad para los cinco sitios estudiados con manejo bajo campo natural y monte de *P. taeda*.



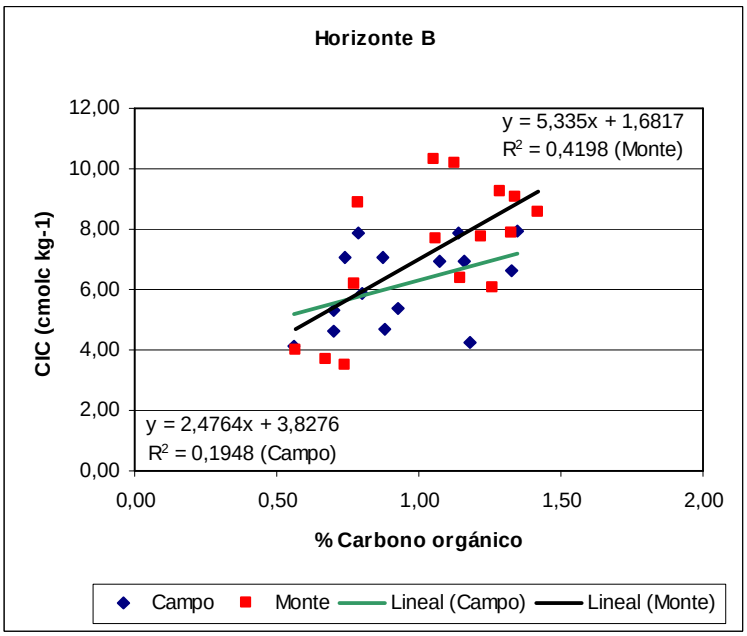


Figura 17. Relación entre el contenido de carbono orgánico y la CIC para los horizontes A y B de todos los sitios de *P. taeda* vs. campo natural.

En la figura 17 se ve la relación entre el contenido de carbono orgánico y la CIC para los horizontes A y B, allí se puede ver que la correlación es mayor en el horizonte B.

Para el promedio de los sitios el contenido de carbono orgánico no manifestó cambios bajo monte en el horizonte A, esto mismo observó Davis (1994), Giddens et al. (1997), Dieste (1999). Cabe mencionar en el caso de Dieste (1999) que no observó cambios en los primeros 20 cm, pero cuando consideró 100 cm del perfil, el contenido de carbono fue mayor bajo monte. En contraposición otros autores observaron bajo monte una disminución en el contenido de carbono orgánico como Parfitt et al. (1997), Candan et al. (2003), Hill et al. (2004) aunque en plantaciones de 3 años con poco aporte de biomasa al suelo. En el horizonte Bt se observó un aumento del contenido de carbono orgánico bajo monte, lo que esta de acuerdo con lo observado por Dieste (1999).

4.3.2. Propiedades físicas.

En el cuadro 24 se indican los valores promedio de las propiedades físicas evaluadas para los dos usos en tres de los cinco sitios, para las tres profundidades estudiadas. En los anexos se muestran los datos individuales para cada suelo por horizonte.

Cuadro 24. Propiedades físicas para el promedio de los sitios 1, 4, y 5 de *P. taeda* vs. campo natural según horizonte y uso, y valores estadísticos entre usos y de interacción uso por sitio, según horizonte.

PROPIEDAD			HORIZONTE											
			5-10 cm A				25-30 cm A				Parte superior Bt			
			Uso		Pr > F		Uso		Pr > F		Uso		Pr > F	
			Campo	Monte	Uso	IntUsoSit	Campo	Monte	Uso	IntUsoSit	Campo	Monte	Uso	IntUsoSit
DAP (g cm^{-3})			1,344	1,426	*0,1813*	*0,4175*	1,435	1,464	*0,4731*	*0,6647*	1,497	1,445	*0,3446*	*0,4451*
0,10	bar	%HV	19,7	17,7	*0,0429*	*0,6704*	17,1	17,2	*0,8203*	*0,6389*	36,0	32,5	*0,0545*	*0,4043*
0,33			13,4	12,7	*0,4517*	*0,9262*	12,5	13,3	*0,3594*	*0,2981*	35,3	31,0	*0,0439*	*0,4906*
1,00			9,9	9,3	*0,3371*	*0,2314*	10,7	10,8	*0,9305*	*0,2875*	33,4	30,5	*0,0855*	*0,1880*
3,00			8,0	7,1	*0,0623*	*0,7969*	8,8	8,7	*0,9127*	*0,4137*	31,3	29,2	*0,2280*	*0,2719*
Porosidad Total		%	49,3	46,2	*0,1814*	*0,4205*	45,8	44,7	*0,4724*	*0,6656*	43,5	45,5	*0,3463*	*0,4470*
Macroporosidad			29,6	28,4	*0,6466*	*0,6610*	28,8	27,5	*0,5079*	*0,7949*	7,5	12,9	*0,0519*	*0,1919*
K (cm h^{-1})			16,1	11,2	*0,0446*	*0,0131*	13,4	8,5	*0,2494*	*0,1153*	1,0	3,3	*0,2207*	*0,5947*

4.3.2.1. Densidad aparente.

Como se ve en el cuadro 24, no se encontraron diferencias significativas entre usos (pastoril y forestal) para las tres profundidades estudiadas, para el promedio de los tres sitios; viéndose que el cambio de uso no afecta la densidad aparente. Se observa que los mayores valores de densidad se dan en el horizonte Bt, cualquiera sea el uso, y que la densidad se encuentra en el rango de 1,340 a 1,500 g cm^{-3}.

Sitio por sitio, en cualquiera de las profundidades muestreadas, no se encontraron diferencias significativas entre usos; por lo que el pasar de uso pastoril a forestal no afecta la densidad aparente. Aunque si se encontró una tendencia a que sea mayor en monte en los 5-10 cm del horizonte A del sitio 5 (ver cuadros 18 a 20 de los anexos).

Los resultados encontrados para el promedio de los sitios, son coincidentes con los hallados por Davis (1994), quien no encontró cambio al pasar de pasturas a pinos para densidad aparente.

4.3.2.2. Porosidad total y macroporosidad.

Para el porcentaje de porosidad total, no se encontraron diferencias significativas entre usos, para las tres profundidades estudiadas, para el promedio de los tres sitios; por lo tanto el cambio de uso pastoril a forestal no afecta esta propiedad. Los valores encontrados varían en el rango de 43 a 50%, estando los valores más altos en los primeros centímetros de suelo (ver cuadro 24).

En los cuadros 18 a 20 de los anexos, se ve que para todos los sitios, en cualquiera de las profundidades muestreadas no se encontraron diferencias significativas entre usos; por lo que el pasar de uso pastoril a forestal no afecta la porosidad total. Aunque en los 5-10 cm del horizonte A del sitio 5, se encontró una tendencia a que la porosidad sea menor bajo monte.

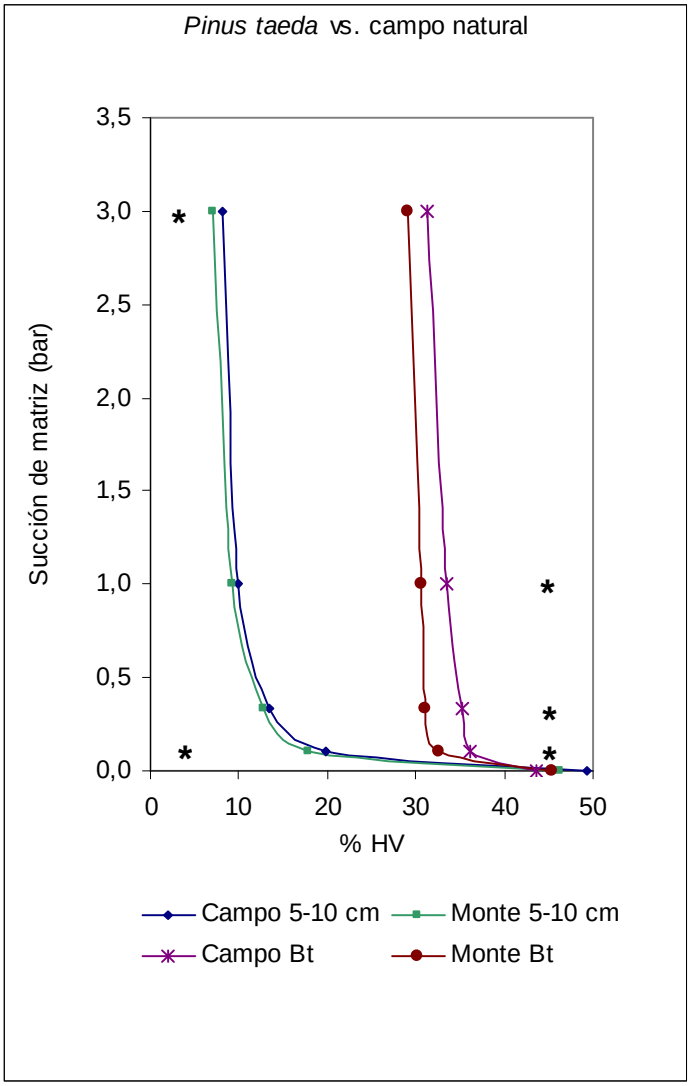
Para macroporosidad como se ve en el cuadro 24, sólo se encontraron diferencias significativas entre usos en el horizonte Bt, para el

promedio de los sitios, viéndose que aumenta bajo monte. Los mayores valores de macroporosidad se dan en los horizontes superficiales del suelo, cualquiera sea el uso.

Como se ve en los cuadros 18 a 20 de los anexos, se encontraron diferencias significativas entre usos en el horizonte Bt del sitio 5, viéndose que la macroporosidad aumenta bajo monte, y una tendencia al aumento en monte en el Bt del sitio 1.

La porosidad total no varia al pasar de uso pastoril a forestal para el promedio de los sitios, esto mismo encontró Davis (1994) en un estudio hecho en Nueva Zelanda sobre suelos con pinos, que originalmente tuvieron vegetación de pasturas.

4.3.2.3. Retención de agua.



* Diferencia significativa entre usos con un 90% de confianza.

Figura 18. Curvas de retención de agua para el promedio de los sitios 1, 4, y 5 de *P. taeda* vs. campo natural a las profundidades de 5-10 cm del horizonte A y parte superior del horizonte Bt.

Como se ve en el cuadro 24, se encontraron algunas diferencias significativas entre usos para la retención de agua en los 5-10 cm del horizonte A y para el Bt, para el promedio de los 3 sitios; viéndose una disminución bajo monte a los 5-10 cm para las medidas hechas a 0,1 y 3 bar, de 2,0 y 0,9 L m^{-2} 10 cm de espesor de suelo respectivamente, y una disminución de la retención

en el Bt bajo monte de 3,5, 4,2, y 2,9 L m^{-2} 10 cm de espesor de suelo a las succiones de matriz de 0,1, 0,33, y 1 bar respectivamente. En ninguno de esos casos se encontraron interacción uso por sitio. También se constató que los mayores valores de retención se dan en el horizonte Bt, cualquiera sea el uso.

En los cuadros 18 a 20 de los anexos se ven los resultados de los análisis de retención para cada una de las profundidades estudiadas para cada uno de los sitios.

Según Musto, citado por Salvo et al. (2005), menor retención estaría asociada a un cambio en la distribución del tamaño de los poros, y a una cierta hidrofobicidad provocada por compuestos orgánicos producto de la descomposición de restos de biomasa.

4.3.2.4. Conductividad hidráulica.

Se encontraron diferencias significativas entre usos sólo para los 5-10 cm del horizonte A, para el promedio de los sitios, viéndose que disminuye bajo monte, y encontrándose interacción uso por sitio, lo que indica que el uso actúa de distinta manera según el sitio. Los mayores valores de conductividad hidráulica se dan en el horizonte A, cualquiera sea el uso (ver cuadro 24).

En los cuadros 18 a 20 de los anexos, se ve que se encontraron diferencias significativas entre usos sólo en los sitios 1 y 4; viéndose una disminución bajo monte, en los 25-30 cm del horizonte A del sitio 1, y en los 5-10 cm del A del sitio 4.

Según Durán (1991a) los métodos de laboratorio para medir conductividad no arrojan resultados enteramente confiables, ya que las condiciones en que se miden no reproducen con exactitud el fenómeno de la precolación tal como ocurre en los suelos en el campo. Esto se debe en gran parte a la perturbación que sufren las muestras al ser trasladadas a laboratorio y a su reducido volumen.

En el presente trabajo se obtuvieron altos valores de coeficientes de variación promedios para conductividad hidráulica para los sitios estudiados en sus distintas profundidades, lo que confirma lo dicho por Durán (1991a).

Cuadro 25. Coeficientes de variación (%) promedios para conductividad hidráulica para las distintas profundidades evaluadas para los sitios de *P. taeda* vs. campo natural.

Uso	Profundidad		
	5-10 cm del A	25-30 cm del A	Bt
Campo	40	53	59
Monte	64	107	140

5. CONCLUSIONES.

5.1. CONCLUSIONES PARTICULARES.

5.1.1. *Eucalyptus grandis.*

Propiedades químicas:

El pasaje de campo natural a forestación con *E. grandis* produjo una acidificación del suelo para el promedio de los sitios y en todos los sitios estudiados. El pH promedio de los sitios fue de 4,85 en campo natural, disminuyendo bajo monte 0,46 unidades en el horizonte A, y 0,37 en el Bt. A su vez para la acidez intercambiable se registraron aumentos promedios de 146% en el horizonte A, y 72% en el Bt, siendo en este último donde se encuentran los mayores contenidos de aluminio independientemente del uso.

Paralelamente, para el promedio de los sitios las bases de intercambio disminuyeron significativamente al pasar de uso pastoril a forestal, y esta disminución es mayor en el horizonte A (43%) que en el Bt (26%). Los resultados sitio por sitio, y teniendo en cuenta los horizontes, muestran que los contenidos de bases son menores bajo monte, y en algunos horizontes de algún sitio no muestran cambios con el uso. La disminución de bases para *E. grandis* en el horizonte A siguió el siguiente orden: Ca>Mg>K>Na; y en el Bt: K>Ca>Mg>Na.

Para las bases totales, observando el promedio de todos los sitios, se encuentran diferencias significativas para el horizonte A y Bt, siendo en todos los casos menores los contenidos bajo monte, y mayor la reducción en el horizonte A (43%) que en Bt (26%).

Para la capacidad de intercambio catiónico, en el promedio de los sitios, en el horizonte A se encontró una disminución que no fue significativa, pero que muestra una tendencia. En cambio para el horizonte Bt, sí se encontró un aumento significativo del 6% a favor del suelo forestado. Al analizar los resultados sitio a sitio, como excepción, se encontraron diferencias puntuales en dos, y estas fueron en tres horizontes en particular. Dada la inconsistencia

de los resultados, no se puede inferir que *E. grandis* tengan un efecto en particular sobre el suelo para esta propiedad.

Para porcentaje de saturación en bases, *E. grandis* produjo siempre el mismo efecto en el suelo, ya que para el promedio de los sitios estudiados, y sitio por sitio, al pasar de un uso pastoril a forestal, el porcentaje de saturación en bases siempre disminuye, y en consecuencia, aumenta el porcentaje de saturación en aluminio. Para el promedio de los sitios, en el horizonte A la disminución es de 32 unidades porcentuales, y en el horizonte Bt de 23 unidades porcentuales.

Para el porcentaje de carbono orgánico, para el promedio de los sitios, se observa que no existe diferencia significativa entre usos. Sitio por sitio, se observan algunas diferencias entre usos en dos sitios en particular y en algún horizonte, aunque con resultados contrapuestos. Por lo tanto, en este estudio no se pudo constatar efectos del cambio de vegetación sobre el contenido de carbono orgánico del suelo. No obstante, dada la estratificación del carbono orgánico bajo monte hubiera sido necesario un muestreo más dirigido a caracterizar adecuadamente su distribución en el perfil. Tampoco se consideró el horizonte orgánico del suelo (O) en el muestreo.

Propiedades físicas:

Para densidad aparente, para el promedio de los sitios, se observaron diferencias en el horizonte Bt, y una tendencia en los 5-10 cm del A, siendo la densidad mayor bajo monte.

Para porosidad total se encontraron diferencias significativas entre usos en el horizonte Bt, y una tendencia en los 5-10 cm del A, siendo menor bajo monte para el promedio de los sitios.

Para macroporosidad a las tres profundidades estudiadas para el promedio de los sitios, se encontró diferencias significativas sólo a los 25-30 cm, siendo menor bajo monte. Si se consideran los sitios individualmente, los resultados no son tan claros, pudiendo no existir diferencias, y en los casos que las hay, variar a favor o en contra de ambos usos.

Para retención de agua se observa que a las diferentes medidas de retención hechas (desde 0,1 a 3 bar) para el promedio de los sitios, los valores de retención son menores significativamente bajo monte en los 5-10 cm del horizonte A (con disminuciones del orden de 2,7 a 5,6 L m^2 10 cm de espesor de suelo) y en Bt (excepto a 3 bar) (con disminuciones del orden de 1,9 a 2,1 L m^2 10 cm de espesor de suelo), y en los 25-30 cm del A hay una aumento significativo de la retención a 0,1 bar. Considerando los sitios individualmente, en los casos en los que hay diferencias entre usos, la retención es menor en los 5-10 cm del horizonte A y en Bt, y es mayor sólo en algún caso puntual en los 25-30 cm de A.

Con respecto a conductividad hidráulica para el promedio de los sitios, se encontraron diferencias sólo en los 25-30 cm del horizonte A, siendo mayor en monte; y para los sitios individualmente, sólo se constataron diferencias en los 25-30 cm del A de los sitios 1 y 2, y en Bt de 4, siendo mayor la conductividad en monte. Es importante resaltar que para esta propiedad hubo una gran variabilidad en los resultados, lo que determina que halla sesgo en los resultados promedios con altos valores de coeficientes de variación (entre 25 a 67% bajo campo y entre 52 a 104% bajo monte), siendo así poco confiables para sacar conclusiones.

5.1.2. *Pinus taeda.*

Propiedades químicas:

Los resultados muestran una reducción significativa en el pH del suelo en agua bajo monte de *P. taeda* en relación con el mismo suelo bajo pasturas, en la mayoría de los sitios estudiados, y para el promedio de los sitios. Para el promedio de los sitios el pH en agua disminuye de 4,82 a 4,50 (0,32 unidades menos) en el horizonte A, y de 4,73 a 4,54 (0,19 unidades menos) en Bt.

Con relación a la acidez intercambiable, los resultados para el promedio de los sitios, muestran un aumento significativo del aluminio en el horizonte A de 53% y en el Bt de 54%.

Para el contenido de bases totales, así como para los cationes que la integran, los resultados obtenidos no muestran un comportamiento consistente como resultado del cambio de uso del suelo. Los resultados muestran

diferencias significativas en ambas direcciones, o no muestran cambios. Aunque para el promedio de los sitios se observa un aumento de la misma en el horizonte A.

Los resultados de capacidad de intercambio catiónico para el promedio de los sitios muestran un aumento significativo cuando se pasa de uso pastoril a forestal, aumentando en el horizonte A 22,8% y en Bt 18,2%. Las causas de este aumento fueron discutidas en el capítulo 4.

Con respecto al porcentaje de saturación en bases, para el promedio de los sitios los resultados muestran una disminución bajo monte en el horizonte A de 8 unidades porcentuales, y en el horizonte Bt de 6 unidades porcentuales.

El contenido de carbono orgánico del suelo, no se ve afectado de manera significativa bajo *P. taeda*, ya que para el promedio de los sitios sólo se encontró una tendencia al aumento en Bt. Cabe la misma aclaración metodológica que se realizó al considerar la situación de montes de *E. grandis*.

Propiedades físicas:

La densidad aparente no se ve afectada, al pasar de campo natural a forestación con *P. taeda*, ya que no se detectan diferencias en los valores, ni para el promedio de los sitios, ni para los sitios individualmente.

Para porosidad total, en base a los resultados obtenidos se observa que *P. taeda* no tiene efecto sobre esta propiedad; y para macroporosidad, no se encontraron cambios significativos, salvo en el horizonte Bt para el promedio de los sitios donde se ve que la misma aumenta bajo monte.

La retención de agua no siempre se vio afectada con el cambio de uso, ya que sólo se observaron diferencias en algunos casos en particular, pero cuando fue así, existió una disminución. El horizonte Bt es donde se observan los mayores cambios, ya que para el promedio de los sitios, y para dos sitios en particular la retención disminuye entre 2,9 a 4,2 L m^2 10 cm de espesor de suelo (excepto a 3 bar, donde no se detectan cambios). También existió una disminución promedio de la retención en los 5-10 cm del A a capacidad de campo (0,1 bar) y a 3 bar de succión de matriz, de 0,9 y 2 L m^2 10 cm de espesor de suelo respectivamente.

Con respecto a conductividad hidráulica, se encontraron diferencias significativas entre usos en los 5-10 cm del horizonte A, siendo menor bajo monte, aunque esa disminución promedio esta determinada por un sitio en particular donde la disminución es muy grande, no existiendo cambio en los otros sitios estudiados. Hay que tener en cuenta el hecho de que esta propiedad tiene altos valores de coeficientes de variación (entre 40 a 59% bajo campo natural y entre 64 a 140% bajo monte) lo que hace que halla sesgo en los datos, determinando situaciones como la anteriormente descrita, donde un sitio tiene mucho peso en el promedio de los datos observados.

5.2. CONCLUSIONES GENERALES.

Si bien no fue posible realizar un estudio conjunto de las situaciones, ya que no corresponden a sitios en los cuales se encuentren los tres manejos juntos (pastura natural, monte de *E. grandis* y monte de *P. taeda*), se pueden inferir algunas tendencias comparativas entre *E. grandis* y *P. taeda*, respecto a la magnitud de los cambios operados por ambos en las propiedades de suelo evaluadas.

Propiedades químicas:

- El pH en agua disminuye en suelos forestados, y esa disminución es mayor en suelos con *E. grandis*. La disminución en el horizonte A es de 4,9 a 4,4 en *E. grandis* y de 4,8 a 4,5 en *P. taeda*; y en el horizonte Bt de 4,8 a 4,5 en *E. grandis* y de 4,7 a 4,5 en *P. taeda*.

- El contenido de aluminio intercambiable aumenta en suelos forestados, y ese aumento es mayor en suelos con *E. grandis*. En el horizonte A el aumento es de 146 % en *E. grandis* y de 53% en *P. taeda*; y en el Bt es de 72% en *E. grandis* y de 54% en *P. taeda*.

- El contenido de bases de intercambio, bajo suelos con *E. grandis* disminuye, y en suelos con *P. taeda* no hay un comportamiento consistente que permita determinar un efecto sobre dicha propiedad. Para el promedio de los sitios en *E. grandis* la disminución en el horizonte A es de 43% y de 26% en Bt. La disminución de bases para *E. grandis* en el horizonte A siguió el siguiente orden: Ca>Mg>K>Na; y en el Bt: K>Ca>Mg>Na.

- La capacidad de intercambio catiónico a pH del suelo en este estudio sólo tuvo un comportamiento claro en *P. taeda*, observándose un aumento con respecto a campo natural en el horizonte A de 22,8% y en Bt de 18,2%. No obstante dicho aumento tiene cierto sesgo debido a que hay sitios en donde la CIC fue mayor bajo monte respecto a campo natural, debido en parte a un mayor contenido de bases de intercambio, lo cual podría estar indicando diferencias genéticas entre suelos de un mismo sitio.

- El porcentaje de saturación en bases a pH del suelo disminuye en los suelos con forestación, y esa disminución es mayor en suelos con *E. grandis*. En el horizonte A en *E. grandis* disminuye de 83 a 51% y en *P. taeda* de 71 a 63%; y en el horizonte Bt de 71 a 48% en *E. grandis* y de 68 a 62% en *P. taeda*.

- El contenido de carbono orgánico no mostró estar afectado por el cambio de uso. No obstante, la metodología de muestreo no fue la más adecuada para estimar posibles diferencias, y tampoco se tuvo en cuenta el horizonte orgánico (O) para evaluar posibles cambios.

Propiedades físicas:

- Para densidad aparente en los sitios bajo *E. grandis*, se detectaron aumentos de la misma en el horizonte Bt en algún caso puntual; y los sitios con *P. taeda* no mostraron cambios.

- Para porosidad total y macroporosidad, en los sitios bajo *P. taeda* no se detectaron cambios; mientras que en los sitios con *E. grandis* para porosidad se encontró alguna disminución puntual en el horizonte Bt, y para macroporosidad los resultados no muestran un comportamiento claro que permita definir el efecto del cambio de uso sobre la misma.

- Para retención de agua, en aquellos sitios bajo *E. grandis*, se da una disminución en los 5-10 cm del horizonte A en un rango de 2,7 a 5,6 L m^2 10 cm de espesor de suelo, y en la parte superior del Bt en un rango de 1,9 a 2,2 L m^2 10 cm de espesor de suelo; y en los sitios con *P. taeda* existe una disminución de la retención en Bt en un rango de 2,9 a 4,2 L m^2 10 cm de espesor de suelo, y en los 5-10 cm a capacidad de campo (1 bar) de 2,0 L m^2 10 cm de espesor de suelo.

- Para conductividad hidráulica los resultados mostraron valores promedios de coeficientes de variación entre 25 a 67% en las situaciones

bajo campo natural, y entre 52 a 140% bajo las dos especies forestales estudiadas (*E. grandis* y *P. taeda*), siendo así poco confiables para extraer conclusiones.

6. RESUMEN.

Existe interés por determinar el efecto del cambio de uso del suelo de pastoril a forestal en sus propiedades químicas y físicas. Con este objetivo se muestrearon Acrisoles y Luvisoles de la Unidad Rivera bajo cuatro plantaciones de *Eucalyptus grandis,* y cinco plantaciones de *Pinus taeda,* de más de 15 años de edad, y en la pastura natural aledaña a ellas. Las determinaciones realizadas para cada situación fueron: pH, acidez intercambiable, bases de intercambio, carbono orgánico, densidad aparente, macro y microporosidad, curvas de retención de agua y conductividad hidráulica. Para el horizonte A de los suelos, el pH disminuyó en promedio de 4,9 (campo natural) a 4,4 (*E. grandis*), y de 4,8 (campo natural) a 4,5 (*P. taeda*). La acidez intercambiable aumentó 146% en *E. grandis* y 72% en *P. taeda,* mientras que el contenido de bases disminuyó un 43% bajo *E. grandis*, en tanto que bajo *P. taeda* las tendencias no fueron claras. El porcentaje de saturación en bases disminuyó de 83% (campo natural) a 51% (*E. grandis*), y de 71% (campo natural) a 48% (*P. taeda*). Las tendencias para el horizonte B fueron similares en todas las situaciones, aunque de menor magnitud. No se constataron cambios importantes en el contenido de carbono orgánico de cada horizonte, aunque no fue evaluada en este estudio la estratificación en superficie ni el horizonte O. Hubo tendencias a una mayor densidad aparente del suelo bajo *E. grandis*, respecto a la pastura natural, menor porosidad y menor retención de agua a todas las succiones de matriz para los horizontes A y B. Para *P. taeda* se observaron tendencias similares, aunque de menor magnitud. Para conductividad hidráulica los resultados fueron poco confiables, dada su alta variabilidad.

Palabras clave: Cambio de uso del suelo; Pastura natural; *Eucalyptus grandis; Pinus taeda*; Propiedades químicas de suelo; Propiedades físicas de suelo.

7. SUMMARY.

The effects of the change in the land use from pastures to forestry on soil chemistry and physical properties are of great interest in Uruguay. Soils were Ultisols and Alfisols of Unidad Rivera, and soil samples were collected from native pastures, and from four plantations of *Eucalyptus grandis* and five of *Pinus taeda,* with more than 15 years old forests. The determinations were: pH, acidity exchangeable, bases, organic carbon, bulk density, macroporosity and micropososity, water retention, and hydraulic conductivity. The pH of the A Horizon decreased from 4,9 (native pastures) to 4,4 (*E. grandis*), and from 4,8 (native pastures) to 4,5 (*P. taeda*). Acidity increased 146% in *E. grandis* and 72% in *P. taeda*. The bases content decreased 43% under *E. grandis*, meanwhile in *P. taeda* the trend was not clear. The percentage of base saturation decreased from 83% (native pastures) to 51% (*E. grandis*), and from 71% (native pastures) to 48% (*P. taeda*). The Horizon B presented similar trends in all the situations, but of lower magnitude than Horizon A. Important changes in organic carbon content were not observed. However, we did not evaluate the stratification in surface nor O Horizon. Soils under forest plantations presented higher bulk density, lower water retention, and porosity than native pastures soils, but the magnitude of the changes under *P. taeda* were lower than *E. grandis*. Hydraulic conductivity was very variable and then results less reliable.

Key words: Land use change; Pasture vegetation; *Eucalyptus grandis*; *Pinus taeda*; Soil chemical properties; Soil physical properties.

8. BIBLIOGRAFÍA.

1. ACUÑA, E.; POCH, R. M. 2001. Variabilidad de propiedades físicas de suelos forestales. Aplicación a la cuenca rasa de Cogulers (El Solsonès, Prepirineo Catalán). Edafología. 8 (3): 11-23.

2. APARICIO, J. L. 2003. Efecto de *Eucalyptus grandis* en las condiciones químicas del suelo de 26 sitios del sudeste de la Provincia de Corrientes. (en línea). In: Jornadas forestales de Entre Ríos (13as., 2003, Entre Ríos, Argentina). Póster. s.p. Consultado jun. 2006. Disponible en http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/2003.htm

3. BLACK, C. A. 1965. Organic carbon. In: Methods of soil analysis. Madison, WI, American Society of Agronomy. pt. 2., s.p. (ASA. Agronomy no. 9).

4. BRAÑAS, J.; GONZÁLEZ-RÍO, F.; MERINO, A. 2000. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noreste de la península ibérica. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. 9 (2): 317-335.

5. BRUSSA, C. A. 1994. Eucalyptus; especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado. Montevideo, Hemisferio Sur. 328 p.

6. CANDAN, F.; BROQUEN, P.; FALBO, G. 2003. Propiedades químicas de un vitrixerand húmico y un haploxerol vitrándico bajo pino ponderosa y estepa (So Neuquén). INTA. RIA, 32 (1): 71-88.

7. CARRASCO-LETELIER, L.; EGUREN, G.; CASTIÑEIRA, C.; PARRA, O.; PANARIO, D. 2004. Preliminary study of prairies forested with *Eucalyptus sp.* at the northwestern Uruguayan soils. (en línea). Environmental Pollution 127: 49-55. Consultado jun. 2006. Disponible en http://www.elsevier.com/locate/envpol

8. CIEFAP. 2003. Guía de conservación de suelos forestales. (en línea). Esquel, Chubut, Argentina, Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino – Patagónico. s.p. Consultado ene. 2006. Disponible en http://www.ciefap.org.ar

9. COZZO, D.; RIVEROS, M. H. C. K. 1969. Registro de caída de materia orgánica y elementos minerales en una plantación de ocho años de *Eucalyptus camaldulensis*. In: Congreso Forestal Argentino (1º., 1969, Buenos Aires, Argentina). Trabajos presentados. s.n.t. pp. 590-598.

10. _____. 1971. La deposición de material orgánico durante 2 años en el suelo de un bosquete de *Eucalyptus camaldulensis* de 8-9 años. Revista Forestal Argentina. 15(1): 5-7.

11. _____. 1976. Tecnología de la forestación Argentina y América Latina. Buenos Aires, Argentina, Hemisferio Sur. 610 p.

12. DAVIS, M. R. 1994. Topsoil properties under tussock grassland and adjoining pine forest in Otago, New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research. 37: 465-469.

13. DE MORAES GONÇALVEZ, J. L. 1988. Propiedades físico-químicas dos solos vs. exigencias nutricionais de espécies florestais de rápido crescimento. IPEF. Circular Técnica no. 154. 15 p.

14. _____. 1995. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlántica. Documentos Florestais Piracicaba. (15): 1-23.

15. DIESTE, A. 1999. Caracterización de suelos de los departamentos de Río Negro y Rivera y evolución de sus propiedades al pasar de uso pastoril a forestal. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 102 p.

16. DURÁN, A. 1991a. Propiedades hídricas de los suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 119 p.

17. _____. 1991b. Los suelos del Uruguay. 2a ed. Montevideo, Hemisferio Sur. 398 p.

18. ERICSSON, T.1994. Nutrient dynamics and requirements of forest crops. New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science. 24(2/3): 133-168.

19. FARLEY, K. A.; KELLY, E. F. 2004. Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status. (en línea). Forest Ecology and Management. 195: 281-290. Consultado jun. 2006. Disponible en http://www.elsevier.com/locate/envpol

20. GARCÍA PRÉCHAC, F.; PÉREZ BIDEGAIN, M.; CHRISTIE, S.; SANTINI, P. 2001. Efecto de la intensidad de laboreo en el crecimiento aéreo y radicular de *Eucalyptus dunnii* y sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo. Agrociencia (Montevideo). 5 (1): 1-9.

21. GIDDENS, K. M.; PARFITT, R. L.; PERCIVAL, H. J. 1997. Comparison of some soil properties under *Pinus radiata* and improved pasture. New Zealand Journal of Agricultural Research. 40: 409-416.

22. GOYA, J. F.; FRANGI, J. L.; DALLA TEA, F.; MARCO, M. A.; LAROCCA, F. 1997. III. Biomasa, productividad y contenido de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en el NE de la provincia de Entre Ríos. In: Jornadas forestales de Entre Ríos (12as., 1997, Entre Ríos, Argentina). Memorias. s.n.t. pp. III-1 a III –19

23. HILL, M.; DELGADO, S.; SALVO, L.; AMARANTE, P.; CLÉRICI, C.; GARCÍA PRECHAC, F.; HERNÁNDEZ, J. 2004. Cambios en calidad de suelo bajo plantaciones de 3 años de edad de eucaliptos y pinos en Uruguay. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (19o., 2004, Paraná, Argentina). Trabajos presentados. s.n.t. 296 p.

24. JOBBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. Biogeochemistry. 64: 205-229.

25. JURADO BELLOTE, A. F.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; DINIZ DE OLIVEIRA, G. 1980. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex – Maiden em função da idade; 1 – macronutrientes. IPEF. no. 20: 1-23.

26. KRALL, J. 1970. Adaptabilidad de coníferas de Norte América plantados en el Uruguay y su susceptibilidad a insectos y enfermedades. Boletín Departamento Forestal (Montevideo). 16: 4-13.

27. KOCH, P. 1972. Utilisation of the southern pines. Washington, D.C., U.S.D.A. v.2, pp. 1476-1493 (Agricultural Handbook no. 420)

28. KOLM, L.; POGGIANI, F. 2003. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos à práctica de desbastes progresivos. Scientia Forestalis. no. 63: 79-93.

29. MARTINO, D.; BENNADJI, Z.; FOSSATI, A.; PAGLIANO, D.; VAN HOFF, E. 1997. La forestación con eucaliptos en Uruguay; su impacto sobre los recursos naturales y el ambiente. Montevideo, INIA. 24 p. (Serie Técnica no. 88).

30. NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, D. L. ed. Methods of soil analysis; chemical methods. Madison, WI, American Society of Agronomy. pt. 3, pp. 961-1010.

31. PARFITT, R. L.; PERCIVAL, H. J.; DAHLGREN, R. A.; HILL, L. F. 1997. Soil and solution chemistry under pasture and radiata pine in New Zealand. Plant and Soil. 191: 279-290.

32. PÉREZ BIDEGAIN, M.; GARCÍA PRÉCHAC, F.; METHOL, R. 2001a. Long-term effect of tillage intensity for *Eucalyptus grandis* planting on some soil physical properties in an Uruguayan Alfisol. In: International Conference on Land Degradation and Meeting on the IUSS Subcommission C – Soil and water conservation (3rd., 2001, Rio de Janeiro, Brasil). Proceedings. s.n.t. s.p.

33. _____.; _____.; DURÁN, A. 2001b. Soil use change effect, from pastures to *Eucalyptus sp.*, on some soil physical and chemical properties in Uruguay. In: International Conference on Land Degradation and Meeting on the IUSS Subcommission C – Soil and water conservation. (3rd., 2001, Rio de Janeiro, Brasil). Proceedings. s.n.t. s.p.

34. POLO, M. J.; LAFUENTE, P.; GIRÁLDEZ, J.V. 2003. Variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada en suelos de olivar y su influencia en el balance hidrológico global. In: Álvarez-Benedf, J.; Marinero, P. eds. Estudios de la zona no saturada del suelo. s.n.t. v.6, s.p.

35. PRITCHETT, W. L. 1986. Suelos forestales; propiedades, conservación y mejoramiento. México, Limusa. 634 p.

36. RICHTER, D. D.; MARKEWITZ, D.; WELLS, C. G.; ALLEN, H. L.; APRIL, R.; HEINE, P. R., URREGO, B. 1994. Soil chemical change during three decades in an old-field loblolly pine (*Pinus taeda* L.) ecosystem. Ecology. 75(5): 1463-1473.

37. SALVO, L.; DELGADO, S.; GARCÍA PRÉCHAC, F.; HERNÁNDEZ, J.; AMARANTE, P.; HILL, M. 2005. Régimen hídrico de un Ultisol arenoso del noreste del Uruguay bajo plantaciones de *Eucalyptus grandis* vs. Pasturas. Documentos Técnicos en Hidrología. no. 71: 65-70.

38. SANTANTONIO, D. 1989. Dry matter partitioning and fine-root production in forests – New Approaches to a difficult problem. In: Pereira, J.S.; Landsberg, J.J. eds. Biomass production by fast-growing trees. Dordrecht, Netherlands, Kluwer. pp. 57-72.

39. THOMAS, G. W. 1982. Exchangeable cations. In: Page, A.L. ed. Methods of soil analysis; chemical and microbiologic properties. Madison, WI, American Society of Agronomy. pt. 2, pp. 159-165 (Agronomy Monograph no. 9).

40. _____. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D. L. ed. Methods of soil analysis; chemical methods. Madison, WI, American Society of Agronomy. pt. 3, pp. 475-490.

41. THOMAS SIMS, J. 1996. Lime requirements. In: Sparks, D. L. ed. Methods of soil analysis; chemical methods. Madison, WI, American Society of Agronomy. pt. 3, pp. 491-515.

42. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA, Y PESCA. COMISION NACIONAL DE ESTUDIO AGROECONOMICO DE LA TIERRA. 1979. Índices de productividad grupos CO.N.E.A.T. Montevideo. 167 p.

43. _____. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. Montevideo. t.1, 83 p.

44. _____. DIRECCIÓN FORESTAL. 1987. Ley de promoción forestal 15.939 y decretos reglamentarios 452/88, 191/06, y 220/06. (en línea). Montevideo. Consultado ago. 2006. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/Forestal/DGF.htm

9. ANEXOS.

9.1. DESCRIPCIÓN DE SUELOS DE LOS SITIOS DE *Eucalyptus grandis* vs. campo natural.

***Eucalyptus grandis* vs. campo natural 1 (EUC-CN 1) – CAMPO:**

Ubicación: Establecimiento Los Silos. Ruta 27, Km. 25.
Georreferenciación: S31.08144 W55.37311
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: ex - campo natural (plantación 2004, frente a parcela 19)
Clasificación de suelo: Acrisol Ócrico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
A	0-53	Pardo (7.5YR 4.5/2) en húmedo; gris rosáceo (7.5YR 6/2) en seco; franco arenoso
BA	53-70	Pardo grisáceo muy oscuro a pardo oscuro (10YR 3/2.5) en húmedo; franco arcillo arenoso
Bt	70 +	Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; con moteados rojo amarillentos (5YR 5/8), abundantes, pequeños, netos de borde difuso, que enmascaran el color de la matriz; arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
A	0-53	4,6	3,7	1,32	1,540	0,473	0,213	0,410	2,637	1,057	3,693	72,5
BA	53-70	4,5	3,7	1,29	1,753	0,520	0,223	0,433	2,930	2,317	5,247	58,8
Bt	70 +	4,6	3,6	1,35	1,730	0,980	0,347	0,513	3,570	4,597	8,167	44,3

***Eucalyptus grandis* vs. campo natural 1 (EUC-CN 1) – MONTE:**

Ubicación: Establecimiento Los Silos. Ruta 27, Km. 25.
Georreferenciación: S31.08192 W55.37304
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: *Eucalyptus grandis* - Plantación 1989 (Parcela 19)
Clasificación de suelo: Acrisol Ócrico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
A	0-57	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/2) en húmedo; franco arenoso
BA	57-74	Pardo a pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2.5) en húmedo; franco arcillo arenoso
Bt	74 +	Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; con moteados pardo grisáceo oscuros (5YR 5/8), abundantes, pequeños, netos de borde difuso; arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
A	0-57	4,5	3,5	1,26	0,180	0,210	0,150	0,287	0,827	1,790	2,617	31,80
BA	57-74	4,3	3,4	1,02	0,417	0,210	0,130	0,350	1,107	3,277	4,383	25,00
Bt	74 +	4,3	3,3	1,18	0,480	0,387	0,157	0,343	1,367	5,583	6,950	19,70

***Eucalyptus grandis* vs. campo natural 2 (EUC-CN 2) – CAMPO:**

Ubicación: Establecimiento Los Silos. Ruta 27, Km. 25.
Georreferenciación: S31.08168 W55.38824
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: ex - campo natural (plantación 2004, frente a parcela 5)
Clasificación de suelo: Luvisol Ócrico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
A	0-37	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/3) en húmedo, pardo (7.5YR 5/3); arenoso franco; transición clara.
AB	37-55	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/3) en húmedo; arenoso franco a franco arenoso.
Bt	55 +	Mezcla de colores pardo rojizo (2.5YR 4/4) en húmedo; con moteados rojos (2.5YR 4/6); arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
A	0-37	5,3	4,2	1,77	1,327	0,680	0,353	0,350	2,710	0,100	2,810	96,4
AB	37-55	5,2	3,9	1,27	1,423	0,710	0,473	0,330	2,937	0,310	3,247	90,5
Bt	55 +	5,0	3,8	1,11	2,030	0,930	0,673	0,357	3,990	0,603	4,593	86,9

***Eucalyptus grandis* vs. campo natural 2 (EUC-CN 2) – MONTE:**

Ubicación: Ruta 27, Km. 25.
Georreferenciación: S31.08201 W55.38824
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: *Eucalyptus grandis* - Plantación 1989 (Parcela 5)
Clasificación de suelo: Luvisol Ócrico

Descripción del perfil

Horizonte	**Profundidad (cm)**	
A	0-30	Pardo oscuro (7.5YR 3.5/4) en húmedo, arenoso franco.
AB	30-54	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; arenoso franco pesado.
Bt	54 +	Rojo (2.5YR 4/6); franco arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
A	0-30	4,5	3,6	1,54	0,727	0,473	0,193	0,340	1,733	0,967	2,700	63,4
AB	30-54	4,6	3,5	0,89	1,057	0,570	0,190	0,300	2,117	1,183	3,300	63,4
B	54 +	4,7	3,6	0,65	2,180	1,053	0,217	0,380	3,830	1,460	5,290	72,4

***Eucalyptus grandis* vs. campo natural 3 (EUC-CN 3) – CAMPO:**

Ubicación: Establecimiento Los Silos. Ruta 27, Km. 25.
Georreferenciación: S31.08162 W55.39261
Posición Topográfica: ladera media
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: ex - campo natural (plantación 2004, frente a parcela 1)
Clasificación de suelo: Acrisol

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
A	0-25	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/2.5) en húmedo; franco arenoso.
AB	25-42	Pardo oscuro (7.5YR 3.5/2) en húmedo; franco arenoso pesado.
Bt1	42-70	Pardo (10YR 4/3) en húmedo; con moteados pardo amarillentos (10YR 5/8), pequeños, comunes, contraste neto, de borde claro; arcillo arenoso.
Bt2	70 +	Mezcla de colores pardo fuerte (7.5YR 5/6) y rojo amarillento (5YR 5/8); arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
A	0-25	4,5	3,8	1,70	1,057	0,457	0,193	0,450	2,157	0,677	2,833	75,9
AB	25-42	4,5	3,7	1,18	1,050	0,413	0,123	0,393	1,980	1,063	3,043	64,9
Bt1	42-70	4,6	3,7	0,73	1,390	0,517	0,113	0,433	2,453	1,197	3,650	66,9
Bt2	70 +	4,6	3,7	0,68	1,773	0,827	0,103	0,393	3,097	1,753	4,850	63,8

***Eucalyptus grandis* vs. campo natural 3 (EUC-CN 3) – MONTE:**

Ubicación: Ruta 27, Km. 25.
Georreferenciación: S31.08218 W55.39267
Posición Topográfica: ladera media
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: *Eucalyptus grandis* - Plantación 1989 (Parcela 1)
Clasificación de suelo: Acrisol Ócrico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
A	0-25	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/2.5) en húmedo; franco arenoso.
AB	25-43	Pardo oscuro (7.5YR 3.5/2) en húmedo; franco arenoso pesado.
Bt1	43-74	Pardo (7.5YR 5/3.5) en húmedo; con moteados amarillo rojizos (7.5YR 6/8), pequeños, comunes, contraste neto, de borde difuso; franco arcillo arenoso.
Bt2	74 +	Mezcla de colores pardo (7.5YR 5/4) y amarillo parduzco (10YR 6/8) con moteados rojos (2.5YR 4/8), comunes, moderados, con contraste neto, de borde difuso; arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
A	0-25	4,2	3,6	1,60	0,887	0,270	0,107	0,310	1,573	1,567	3,140	50,0
AB	25-43	4,3	3,6	1,53	0,747	0,300	0,093	0,440	1,580	1,857	3,437	45,9
Bt1	42-74	4,3	3,6	1,30	0,963	0,330	0,093	0,327	1,713	2,410	4,123	41,9
Bt2	74 +	4,3	3,5	1,09	1,370	0,653	0,120	0,480	2,623	3,623	6,247	42,0

***Eucalyptus grandis* vs. campo natural 4 (EUC-CN 4) - CAMPO**

Ubicación: San Juan. Entrada a Curticeiras hacia el SW.
Georreferenciación: S31.03145 W55.72507
Posición Topográfica: loma alta aplanada
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: Campo natural
Clasificación de suelo: Luvisol Ócrico Álbico

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción del perfil
Au1	0-44	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/3) en húmedo; arenoso franco.
Au2	44-72	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; arenoso franco.
E	72-105	Pardo fuerte (7.5YR 4/5) en húmedo; arenoso franco liviano.
Bt	105+	Pardo rojizo a rojo amarillento (5YR 4/5); arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
Au1	0-44	5,2	4,0	1,38	1,123	0,353	0,200	0,340	2,017	0,227	2,243	89,9
Au2	44-72	5,1	3,8	1,02	0,983	0,333	0,150	0,340	1,807	0,280	2,087	86,6
E	72-105	5,2	4,0	1,38	0,797	0,263	0,130	0,353	1,543	0,183	1,727	89,3
Bt	105+	5,1	3,7	1,07	2,840	1,437	0,307	0,363	4,947	0,790	5,737	86,2

***Eucalyptus grandis* vs. campo natural 4 (EUC-CN 4) – MONTE:**
Ubicación: San Juan. Entrada a Curticeiras hacia el SW.
Georreferenciación: S31.03093 W55.72524
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: *Eucalyptus grandis* - Plantación 1983

Clasificación de suelo: Acrisol Ócrico Álbico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
Au1	0-38	Pardo (7.5YR 5/4) en húmedo; arenoso franco.
Au2	38-63	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; arenoso franco.
E	63-89	Pardo a pardo brillante (7.5YR 5.5/4) en húmedo; arenoso franco liviano.
Bt	89+	Pardo rojizo oscuro (2.5YR 3/4) con moteados pardo amarillento oscuros (10YR 4/6), abundantes, moderados, tenues, de borde difuso; arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
Au1	0-38	4,3	3,6	1,41	0,683	0,197	0,170	0,290	1,340	0,763	2,103	63,7
Au2	38-63	4,4	3,6	1,02	0,417	0,283	0,127	0,250	1,077	0,870	1,947	55,4
E	63-89	4,5	3,6	0,99	0,457	0,270	0,123	0,293	1,143	0,573	1,717	66,7
Bt	89+	4,5	3,4	1,32	1,770	1,537	0,277	0,323	3,907	2,807	6,713	58,1

9.2. DESCRIPCIÓN DE SUELOS DE LOS SITIOS DE *Pinus taeda* vs. campo natural.

***Pinus taeda* vs. campo natural 1 (PIN-CN 1) – CAMPO:**

Ubicación: Establecimiento El Galgo (al lado de San Juan, COFUSA).
Georreferenciación: S31.03150 W55.72521
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: Campo natural (con palmas bajas)
Clasificación de suelo: Acrisol Ócrico Álbico
Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
Au1	0-35 cm	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2.5) en húmedo; pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco; arenoso franco.
Au2	35-62 cm	Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; pardo (10YR 5/3) en seco; arenoso franco.
E	62-93 cm	Pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; arenoso franco liviano.
Bt	93-105 cm	Gris oscuro (7.5YR 4/1) con moteados rojo oscuros (2.5YR 3/6) y rojo amarillentos (5YR 4/6), abundantes, moderados, netos, de borde difuso; arenisca alterada pardo oscura (7.5YR 5/6); arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof. (cm)	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
		Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
Au1	0-35	4,8	3,9	1,75	0,483	0,273	0,177	0,387	1,310	0,413	1,720	76,3
Au2	35-62	4,8	3,8	0,80	0,753	0,243	0,120	0,363	1,480	0,413	1,893	78,7
E	62-93	4,6	3,5	1,21	2,017	1,007	0,350	0,417	3,790	3,397	7,187	52,8
Bt	93-105	4,8	3,9	1,75	0,483	0,273	0,177	0,387	1,310	0,413	1,720	76,3

***Pinus taeda* vs. campo natural 1 (PIN-CN 1) – MONTE:**

Ubicación: Establecimiento El Galgo (al lado de San Juan, COFUSA).
Georreferenciación: S31.03157 W55.72542
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: *Pinus taeda* - Plantación 1990
Clasificación de suelo: Acrisol Ócrico Álbico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
Au1	0-25	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; arenoso franco.
Au2	25-47	Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; pardo (10YR 5/3) en seco; arenoso franco.
E	47-79	Pardo (7.5YR 4.5/4) en húmedo; arenoso franco liviano.
Bt	79 +	Pardo amarillento a pardo amarillento oscuro (10YR 4.5/4), con moteados pardo amarillento oscuros (10YR 4/6), abundantes, moderados, netos, de borde difuso y pardo amarillentos (10YR 5/6), pocos, pequeños, tenues, de borde difuso; arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
Au1	0-25	4,4	3,6	1,30	1,153	0,250	0,160	0,383	1,947	0,963	2,910	67,0
Au2	25-47	4,5	3,7	0,84	1,370	0,360	0,177	0,377	2,283	1,183	3,467	65,9
E	47-79	4,3	3,4	1,26	2,203	0,810	0,403	0,497	3,913	5,890	9,803	40,1
Bt	79 +	4,4	3,6	1,30	1,153	0,250	0,160	0,383	1,947	0,963	2,910	67,0

***Pinus taeda* vs. campo natural 2 (PIN-CN 2) – CAMPO:**

Ubicación: Establecimiento El Galgo. Triángulo entre calle y monte.
Georreferenciación: S31.10382 W55.37275
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: Campo natural
Clasificación de suelo: Luvisol Ócrico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
Au1	0-49 cm	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/3) en húmedo; arenoso franco.
Au2	49-98 cm	Pardo rojizo a rojo amarillento (5YR 4/5) en húmedo; arenoso franco.
Bt	98 +	Rojo (2.5YR4/6); franco arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
Au1	0-49	4,8	3,9	1,36	0,777	0,323	0,160	0,340	1,600	0,317	1,917	83,4
Au2	49-98	4,9	3,9	0,96	0,990	0,400	0,210	0,350	1,950	0,337	2,287	85,1
Bt	98 +	4,9	3,9	1,04	2,093	0,937	0,507	0,330	3,867	0,450	4,317	89,5

***Pinus taeda* vs. campo natural 2 (PIN-CN 2) – MONTE:**

Ubicación: Establecimiento El Galgo. Triángulo entre calle y monte.
Georreferenciación: S31.04950 W55.72153
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: *Pinus taeda* - Plantación 1990
Clasificación de suelo: Luvisol Ócrico Álbico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
Au1	0-50	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/3.5) en húmedo; arenoso franco.
Au2	50-95	Pardo rojizo a rojo (2.5YR 4/4.5) en húmedo; arenoso franco a franco arenoso.
Bt	95-114	Rojo (2.5YR4/6) con moteados pardo amarillento oscuros (10YR 4/4), comunes, pequeños, tenues, de borde difuso; franco arcillo arenoso a arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
Au1	0-50	4,7	3,8	0,99	0,687	0,273	0,153	0,300	1,413	0,537	1,950	72,7
Au2	50-95	4,9	4,0	0,90	1,050	0,420	0,193	0,333	1,997	0,243	2,240	88,9
Bt	95-114	4,7	3,9	0,84	1,793	0,867	0,320	0,347	3,327	0,390	3,717	89,4

***Pinus taeda* vs. campo natural 3 (PIN-CN 3) – CAMPO:**

Ubicación: Tres Pinos A.
Georreferenciación: S31.19939 W55.67081
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: Campo natural
Clasificación de suelo: Acrisol Ócrico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
A	0-42	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/2) en húmedo; franco arenoso.
BA	42-64	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo con moteados pardo amarillentos oscuros (10YR 4/8), pocos, moderados, netos borde claro; franco arcilloso.
Bt	64 +	Rosado (7.5YR 7/4) con moteados rojo amarillentos (5YR 4/8), comunes pequeños, netos, de borde difuso, y venas gris oscuras (7.5YR 4/1); franco arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
A	0-42	4,6	3,8	1,83	0,663	0,207	0,140	0,317	1,317	0,510	1,827	72,1
BA	42-64	4,7	3,8	1,16	1,613	0,727	0,313	0,323	2,977	0,970	3,947	75,5
Bt	64 +	4,6	3,5	1,55	3,063	1,573	0,627	0,367	5,630	1,960	7,590	74,5

***Pinus taeda* vs. campo natural 3 (PIN-CN 3) – MONTE:**

Ubicación: Tres Pinos A.
Georreferenciación: S31.19948 W55.67117
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó

Drenaje externo: Bueno
Vegetación: *Pinus taeda* - Plantación 1984
Clasificación de suelo: Acrisol Ócrico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
A	0-47	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco a franco arenoso con arena fina.
BA	47-64	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo con moteados pardo amarillentos oscuros (10YR 4/8), pocos, moderados, netos borde claro; franco arcilloso.
Bt	64 +	Rosado (7.5YR 7/4) con moteados rojos (2.5YR 5/8) comunes pequeños, netos, de borde difuso, y venas grises (10YR 5/1); franco arcilloso a franco arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g						
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
A	4,3	3,5	1,30	0,627	0,243	0,140	0,357	1,367	1,263	2,630	52,3	4,3
BA	4,5	3,6	1,25	1,127	0,467	0,210	0,460	2,263	1,373	3,637	62,8	4,5
Bt	4,6	3,4	1,72	2,280	1,210	0,620	0,570	4,680	4,287	8,967	52,4	4,6

***Pinus taeda* vs. campo natural 4 (PIN-CN 4) – CAMPO:**

Ubicación: Tres Pinos B.
Georreferenciación: S31.19036 W55.70193
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: Campo natural. Actualmente plantación de primavera de Pinus taeda en 2003
Clasificación de suelo: Acrisol Ócrico
Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
Au1	0-44	Pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo y gris parduzco brillante (10YR 6/2) en seco; arenoso franco.
Au2	44-62	Pardo fuerte (7.5YR 4/5.5) en húmedo y pardo claro (10YR 6/3) en seco; arenoso franco.
E	62-84	Pardo a pardo claro (10YR 5.5/3) y amarillo parduzco (10YR 6/6), que enmascara el color de la matriz; arenoso franco liviano.
Bt	84 +	Pardo amarillento (10YR 5/4) y gris parduzco brillante (10YR 6/2), con moteados pardo amarillento oscuros (10YR 4/8) en el centro y rojos (2.5YR 5/8) hacia fuera, abundantes, moderados, netos, de borde difuso; arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
Au1	0-44	4,8	3,8	1,16	0,610	0,340	0,250	0,377	1,577	0,743	2,320	68,3
Au2	44-62	4,6	3,6	1,19	0,400	0,137	0,230	0,353	1,120	1,513	2,633	42,5
E	62-84	4,7	3,7	1,18	0,553	0,150	0,177	0,343	1,223	1,373	2,597	47,1
Bt	84 +	4,7	3,6	1,01	1,140	0,543	0,220	0,360	2,263	3,037	5,300	42,8

***Pinus taeda* vs. campo natural 4 (PIN-CN 4) – MONTE:**

Ubicación: Tres Pinos B.
Georreferenciación: S31.19027 W55.70205
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: *Pinus taeda* - Plantación 1986
Clasificación de suelo: Acrisol Ócrico Álbico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
Au1	0-47	Pardo (7.5YR 5/3) en húmedo; arenoso franco.
Au2	47-71	Pardo (7.5YR 5/4) en húmedo; arenoso franco.
E	71-82	Pardo brillante (7.5YR 6/4); arenoso franco a arenoso.
Bt	82 +	Pardo (7.5YR 5/4) y pardo amarillento oscuro (10YR 3.5/6) con moteados rojos (2.5YR 5/8), abundantes, moderados, netos, de borde claro; arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
Au1	4,4	3,7	1,60	0,640	0,273	0,143	0,353	1,410	0,950	2,360	59,8	4,4
Au2	4,3	3,6	1,22	0,477	0,150	0,133	0,357	1,117	1,233	2,350	47,6	4,3
E	4,4	3,7	1,26	0,570	0,167	0,143	0,410	1,290	0,810	2,100	61,1	4,4
Bt	4,3	3,4	1,38	1,840	0,877	0,310	0,343	3,370	3,453	6,823	49,7	4,3

***Pinus taeda* vs. campo natural 5 (PIN-CN 5) – CAMPO:**

Ubicación: Loma sobre camino de entrada a Fymnsa, luego de Estación Ataques.
Georreferenciación: S31.08759 W55.70264
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno

Vegetación: Campo natural
Clasificación de suelo: Luvisol Ócrico Álbico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
A	0-51	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/3) en húmedo y pardo brillante a gris rosáceo (7.5YR 6/3) en seco; arenoso franco.
AB	51-76	Pardo (7.5YR 5/4) en húmedo y moteados rojo amarillentos (5YR 5/6), comunes, pequeños, tenues, de borde difuso; franco.
Bt	76 +	Pardo rojizo a rojo (2.5YR 4/5) con moteados pardo rojizos oscuros (2.5YR 3/4), comunes, pequeños, tenues, de borde difuso; arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
A	0-51	5,1	3,9	1,22	0,740	0,253	0,150	0,337	1,477	0,667	2,143	69,0
AB	51-76	5,0	3,8	1,44	1,377	0,433	0,140	0,293	2,243	0,670	2,913	76,8
Bt	76 +	4,9	3,6	1,22	3,323	1,227	0,183	0,410	5,143	1,323	6,467	79,7

***Pinus taeda* vs. campo natural 5 (PIN-CN 5) – MONTE:**

Ubicación: Establecimiento Pompom. Loma sobre camino de entrada a Fymnsa, luego de Estación Ataques.
Georreferenciación: S31.08710 W55.70277
Posición Topográfica: loma alta
Material Generador: areniscas de Tacuarembó
Drenaje externo: Bueno
Vegetación: Pino - Plantación 1988
Clasificación de suelo: Luvisol Ócrico

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	
A	0-47	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/3.5) en húmedo; franco arenoso.
AB	47-73	Pardo oscuro (7.5YR 3.5/4) en húmedo; franco arenoso.
Bt	73-92	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) con moteados rojos (2.5YR 5/8), abundantes, pequeños, poco contraste, de borde difuso; arcillo arenoso.

Datos analíticos.

Hor	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							
	cm	Agua	KCl	%	Ca	Mg	K	Na	B.T.	Al	CIC	% Sat.
A	0-47	4,6	3,7	1,36	0,827	0,383	0,133	0,317	1,660	0,967	2,627	63,3
AB	47-73	4,6	3,7	1,46	1,697	0,523	0,140	0,363	2,723	0,823	3,547	76,9
Bt	73-92	4,8	3,7	1,50	3,633	1,373	0,147	0,393	5,547	1,620	7,167	77,8

9.3. CUADROS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS PARA LOS SITIOS DE *Eucalyptus grandis* vs. campo natural.

Cuadro 1. Propiedades químicas para el promedio de los horizontes según uso, y significación estadística entre usos e interacción uso por horizonte, para los sitios 1 y 2 de *E. grandis* vs. campo natural.

PROPIEDAD		Sitio 1				Sitio 2			
		Uso		Pr > F		Uso		Pr > F	
		Campo	Monte	Uso	IntUsoHor	Campo	Monte	Uso	IntUsoHor
pH(H_20)		4,60	4,36	*0,0012*	*0,6027*	5,10	4,63	*0,0001*	*0,0654*
pH(KCl)		3,67	3,39	*0,0001*	*0,8865*	3,94	3,56	*0,0001*	*0,0013*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	1,674	0,359	*0,0001*	*0,8966*	1,593	1,321	*0,0571*	*0,0918*
Mg		0,658	0,269	*0,0001*	*0,0331*	0,773	0,699	*0,1258*	*0,0296*
K		0,261	0,146	*0,0001*	*0,0152*	0,500	0,200	*0,0001*	*0,0001*
Na		0,452	0,327	*0,0001*	*0,0912*	0,346	0,340	*0,8046*	*0,6176*
BT		3,046	1,100	*0,0001*	*0,4367*	3,212	2,560	*0,0055*	*0,2112*
Al		2,657	3,550	*0,0208*	*0,9413*	0,338	1,203	*0,0001*	*0,9933*
CIC		5,702	4,650	*0,0056*	*0,8903*	3,550	3,763	*0,2367*	*0,1719*
SB	%	58,5	25,5	*0,0001*	*0,2537*	91,2	66,4	*0,0001*	*0,0406*
Corg		1,036	0,903	*0,1014*	*0,6510*	1,086	0,804	*0,0620*	*0,8497*

Cuadro 2. Propiedades químicas para el promedio de los horizontes según uso, y significación estadística entre usos e interacción uso por horizonte, para los sitios 3 y 4 de *E. grandis* vs. campo natural.

PROPIEDAD		Sitio 3				Sitio 4			
		Uso		Pr > F		Uso		Pr > F	
		Campo	Monte	Uso	IntUsoHor	Campo	Monte	Uso	IntUsoHor
pH(H_20)		4,55	4,27	*0,0002*	*0,9934*	5,15	4,43	*0,0001*	*0,3834*
pH(KCl)		3,73	3,55	*0,0001*	*0,7545*	3,88	3,56	*0,0001*	*0,1907*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	1,318	0,992	*0,0048*	*0,7829*	1,436	0,832	*0,0001*	*0,0138*
Mg		0,553	0,388	*0,0119*	*0,9622*	0,597	0,572	*0,5139*	*0,1505*
K		0,133	0,103	*0,0054*	*0,0105*	0,197	0,174	*0,0752*	*0,8800*
Na		0,418	0,389	*0,2187*	*0,0057*	0,349	0,289	*0,0002*	*0,5275*
BT		2,422	1,873	*0,0037*	*0,8818*	2,578	1,867	*0,0001*	*0,2772*
Al		1,173	2,364	*0,0001*	*0,2311*	0,370	1,253	*0,0001*	*0,0001*
CIC		3,594	4,237	*0,0009*	*0,0849*	2,948	3,120	*0,0748*	*0,0013*
SB	%	67,9	44,9	*0,0001*	*0,8574*	88,0	61,0	*0,0001*	*0,4068*
Corg		0,840	1,082	*0,0016*	*0,0495*	0,952	0,930	*0,6656*	*0,0224*

Cuadro 3. Valores promedio de las propiedades químicas del sitio 1 de *E. grandis* vs. campo natural, y significación estadística entre usos, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE								
		A			BA			Bt		
		Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
pH(H_20)		4,63	4,47	*0,0377*	4,53	4,27	*0,0570*	4,63	4,33	*0,0955*
pH(KCl)		3,73	3,47	*0,0572*	3,70	3,40	*0,0350*	3,57	3,30	*0,0572*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	1,540	0,180	*0,0097*	1,753	0,417	*0,0060*	1,730	0,480	*0,0301*
Mg		0,473	0,210	*0,0408*	0,520	0,210	*0,0380*	0,980	0,387	*0,0428*
K		0,213	0,150	*0,0188*	0,223	0,130	*0,0760*	0,347	0,157	*0,0424*
Na		0,410	0,287	*0,0136*	0,433	0,350	*0,1420*	0,513	0,343	*0,0180*
BT		2,637	0,827	*0,0126*	2,930	1,107	*0,0002*	3,570	1,367	*0,0242*
Al		1,057	1,790	*0,1551*	2,317	3,277	*0,3140*	4,597	5,583	*0,3576*
CIC		3,693	2,617	*0,1793*	5,247	4,383	*0,3650*	8,167	6,950	*0,1530*
SB	%	72,5	31,8	*0,0150*	58,8	25,0	*0,0660*	44,3	19,7	*0,0744*
Corg		1,037	0,990	*0,5044*	1,013	0,797	*0,4130*	1,057	0,923	*0,5052*

Cuadro 4. Valores promedio de las propiedades químicas del sitio 2 de *E. grandis* vs. campo natural, y significación estadística entre usos, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE								
		A			AB			Bt		
		Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
pH(H_20)		5,3	4,53	*0,0351*	5,20	4,63	*0,0030*	4,97	4,73	*0,1917*
pH(KCl)		4,17	3,60	*0,0034*	3,90	3,50	*0,0200*	3,77	3,57	*0,0742*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	1,327	0,727	*0,0848*	1,423	1,057	*0,3170*	2,030	2,180	*0,4003*
Mg		0,680	0,473	*0,1792*	0,710	0,570	*0,1090*	0,930	1,053	*0,1400*
K		0,353	0,193	*0,0052*	0,473	0,190	*0,0060*	0,673	0,217	*0,0042*
Na		0,350	0,340	*0,8727*	0,330	0,300	*0,1890*	0,357	0,380	*0,3688*
BT		2,710	1,733	*0,1050*	2,937	2,117	*0,1280*	3,990	3,830	*0,4772*
Al		0,100	0,967	*0,0038*	0,310	1,183	*0,0090*	0,603	1,460	*0,0355*
CIC		2,810	2,700	*0,7531*	3,247	3,300	*0,8790*	4,593	5,290	*0,1482*
SB	%	96,4	63,4	*0,0208*	90,5	63,4	*0,0220*	86,9	72,4	*0,0250*
Corg		1,387	1,207	*0,7268*	0,997	0,700	*0,0130*	0,873	0,507	*0,1590*

Cuadro 5. Valores promedio de las propiedades químicas del sitio 3 de *E. grandis* vs. campo natural, y significación estadística entre usos, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE											
		A			AB			Bt1			Bt2		
		Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
pH($H_2$0)		4,50	4,20	*0,0351*	4,53	4,27	*0,0942*	4,57	4,30	*0,3190*	4,60	4,30	*0,2254*
pH(KCl)		3,80	3,60	*0,0742*	3,70	3,57	*0,0572*	3,73	3,57	*0,1994*	3,67	3,47	*0,0742*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	1,057	0,887	*0,3772*	1,050	0,747	*0,0728*	1,390	0,963	*0,0137*	1,773	1,370	*0,4289*
Mg		0,457	0,270	*0,0373*	0,413	0,300	*0,5024*	0,517	0,330	*0,0984*	0,827	0,653	*0,4419*
K		0,193	0,107	*0,0931*	0,123	0,093	*0,3745*	0,113	0,093	*0,2254*	0,103	0,120	*0,1994*
Na		0,450	0,310	*0,0742*	0,393	0,440	*0,3570*	0,433	0,327	*0,1329*	0,393	0,480	*0,1529*
BT		2,157	1,573	*0,1155*	1,980	1,580	*0,2575*	2,453	1,713	*0,0164*	3,097	2,623	*0,5262*
Al		0,677	1,567	*0,0141*	1,063	1,857	*0,0377*	1,197	2,410	*0,1409*	1,753	3,623	*0,1486*
CIC		2,833	3,140	*0,1399*	3,043	3,437	*0,2388*	3,650	4,123	*0,3787*	4,850	6,247	*0,0560*
SB	%	75,9	50,0	*0,0316*	64,9	45,9	*0,0802*	66,9	41,9	*0,0604*	63,8	42,0	*0,2300*
Corg		1,333	1,253	*0,5101*	0,923	1,200	*0,0965*	0,573	1,020	*0,0122*	0,530	0,853	*0,1280*

Cuadro 6. Valores promedio de las propiedades químicas del sitio 4 de *E. grandis* vs. campo natural, y significación estadística entre usos, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE											
		Au1			Au2			E			Bt		
		Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
pH(H_20)		5,17	4,30	*0,0229*	5,07	4,43	*0,0342*	5,23	4,53	*0,0067*	5,13	4,47	*0,0171*
pH(KCl)		4,03	3,63	*0,0572*	3,80	3,60	*Sin dato*	4,00	3,63	*0,0533*	3,67	3,37	*0,0351*
Ca	$cmol_C\ kg^{-1}$	1,123	0,683	*0,0244*	0,983	0,417	*0,0105*	0,797	0,457	*0,1394*	2,840	1,770	*0,0410*
Mg		0,353	0,197	*0,0058*	0,333	0,283	*0,2434*	0,263	0,270	*0,9270*	1,437	1,537	*0,5348*
K		0,200	0,170	*0,1885*	0,150	0,127	*0,3688*	0,130	0,123	*0,7278*	0,307	0,277	*0,4078*
Na		0,340	0,290	*0,1383*	0,340	0,250	*0,0766*	0,353	0,293	*0,1399*	0,363	0,323	*0,2529*
BT		2,017	1,340	*0,0132*	1,807	1,077	*0,0154*	1,543	1,143	*0,1907*	4,947	3,907	*0,0930*
Al		0,227	0,763	*0,0083*	0,280	0,870	*0,0466*	0,183	0,573	*0,0131*	0,790	2,807	*0,0114*
CIC		2,243	2,103	*0,0445*	2,087	1,947	*0,1329*	1,727	1,717	*0,9716*	5,737	6,713	*0,0180*
SB	%	89,9	63,7	*0,0069*	86,6	55,4	*0,0324*	89,3	66,7	*0,0027*	86,2	58,1	*0,0162*
Corg		1,080	1,107	*0,8052*	0,800	0,800	*1,0000*	1,083	0,780	*0,1545*	0,843	1,033	*0,2021*

Cuadro 7. Valores promedio de las propiedades físicas del sitio 1 de *E. grandis* vs. campo natural, y significación estadística entre usos, según horizonte.

PROPIEDAD			HORIZONTE								
			5-10 cm A			25-30 cm A			Parte superior Bt		
			Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
			Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
DAP (g cm^{-3})			1,488	1,427	*0,4420*	1,491	1,525	*0,3311*	1,371	1,558	*0,0329*
0,10	bar	%HV	26,7	20,5	*0,0126*	18,7	20,2	*0,0682*	37,4	37,7	*0,6985*
0,33			21,0	11,9	*0,0022*	14,6	13,2	*0,1714*	35,9	37,2	*0,3169*
1,00			16,0	10,3	*0,0130*	12,1	11,4	*0,6120*	34,5	35,9	*0,3118*
3,00			13,4	7,4	*0,0029*	9,1	8,1	*0,5268*	33,3	34,2	*0,7635*
Porosidad Total		%	43,8	46,1	*0,4435*	43,7	42,4	*0,3374*	48,3	41,2	*0,0329*
Macroporosidad			17,2	25,6	*0,0237*	25,0	22,2	*0,0437*	10,9	3,5	*0,0555*
K (cm h^{-1})			15,699	16,382	*0,8944*	1,887	5,760	*0,0550*	0,227	0,072	*0,9442*

Cuadro 8. Valores promedio de las propiedades físicas del sitio 2 de *E. grandis* vs. campo natural, y significación estadística entre usos, según horizonte.

PROPIEDAD			HORIZONTE								
			5-10 cm A			25-30 cm A			Parte superior Bt		
			Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
			Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
DAP (g cm-3)			1,494	1,501	*0,9309*	1,503	1,530	*0,4364*	1,634	1,754	*0,1291*
0,10	bar	%HV	29,7	26,4	*0,0998*	22,2	22,3	*0,8715*	30,3	30,0	*0,7257*
0,33			20,4	17,2	*0,0963*	14,8	16,3	*0,1391*	29,0	28,7	*0,8450*
1,00			15,4	14,1	*0,4251*	11,8	13,0	*0,3747*	27,0	27,4	*0,7487*
3,00			12,6	11,3	*0,2900*	8,9	10,2	*0,4319*	25,4	25,9	*0,8902*
Porosidad Total		%	43,6	43,4	*0,9316*	43,3	42,3	*0,4425*	38,3	33,8	*0,1295*
Macroporosidad			13,9	17,0	*0,3032*	21,1	20,0	*0,3375*	8,0	3,8	*0,2297*
K (cm h^{-1})			5,986	5,058	*0,8571*	1,809	2,637	*0,6292*	0,726	0,018	*0,7516*

Cuadro 9. Valores promedio de los propiedades físicas del sitio 4 de *E. grandis* vs. campo natural, y significación estadística entre usos, según horizonte.

PROPIEDAD			HORIZONTE								
			5-10 cm A			25-30 cm A			Parte superior Bt		
			Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
			Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
DAP (g cm-3)			1,255	1,558	*0,0196*	1,447	1,462	*0,6634*	1,489	1,414	*0,3126*
0,10	bar	%HV	19,9	21,2	*0,5430*	14,3	15,8	*0,0688*	36,5	30,0	*0,0003*
0,33			15,2	10,8	*0,0709*	11,6	10,7	*0,3381*	35,5	27,8	*0,0007*
1,00			12,3	9,0	*0,1367*	8,8	9,2	*0,7941*	33,9	26,3	*0,0012*
3,00			8,2	6,9	*0,3940*	8,1	7,4	*0,6854*	32,5	26,7	*0,1064*
Porosidad Total		%	52,6	41,2	*0,0197*	45,4	44,8	*0,6641*	43,8	46,6	*0,3095*
Macroporosidad			32,7	20,0	*0,0110*	31,1	29,1	*0,1102*	7,3	16,7	*0,0241*
K (cm h^{-1})			8,567	7,752	*0,9272*	5,795	13,866	*0,0026*	0,520	4,775	*0,0932*

9.4. CUADROS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS PARA LOS SITIOS DE *Pinus taeda* vs. campo natural.

Cuadro 10. Propiedades químicas para el promedio de los horizontes según uso, y significación estadística entre usos y de interacción uso por horizonte, para los sitios 1 y 2 de *P. taeda* vs. campo natural.

PROPIEDAD		Sitio 1				Sitio 2			
		Uso		Pr > F		Uso		Pr > F	
		Campo	Monte	Uso	IntUsoHor	Campo	Monte	Uso	IntUsoHor
pH(H_20)		4,77	4,42	*0,0001*	*0,4547*	4,88	4,80	*0,2153*	*0,6415*
pH(KCl)		3,73	3,58	*0,0001*	*0,0235*	3,89	3,89	*1,0000*	*0,3577*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	1,084	1,576	*0,0001*	*0,0204*	1,287	1,177	*0,1219*	*0,1255*
Mg		0,508	0,473	*0,3494*	*0,0144*	0,553	0,520	*0,3127*	*0,4940*
K		0,216	0,247	*0,1169*	*0,2248*	0,292	0,222	*0,0086*	*0,0107*
Na		0,389	0,419	*0,0855*	*0,1215*	0,340	0,327	*0,3475*	*0,2740*
BT		2,193	2,714	*0,0003*	*0,0429*	2,472	2,246	*0,0386*	*0,0839*
Al		1,408	2,679	*0,0001*	*0,0026*	0,368	0,390	*0,6682*	*0,0561*
CIC		3,600	5,393	*0,0001*	*0,0548*	2,840	2,636	*0,0341*	*0,0222*
SB	%	69,3	57,7	*0,0002*	*0,7241*	86,0	83,7	*0,2666*	*0,0323*
Corg		0,987	0,888	*0,4110*	*0,3190*	0,879	0,714	*0,1915*	*0,6996*

Cuadro11. Propiedades químicas para el promedio de los horizontes según uso, y significación estadística entre usos y de interacción uso por horizonte, para los sitios 3 y 4 de *P. taeda* vs. campo natural.

PROPIEDAD		Sitio 3				Sitio 4			
		Uso		Pr > F		Uso		Pr > F	
		Campo	Monte	Uso	IntUsoHor	Campo	Monte	Uso	IntUsoHor
pH(H_20)		4,62	4,47	*0,0110*	*0,0605*	4,68	4,34	*0,0001*	*0,4748*
pH(KCl)		3,69	3,52	*0,0001*	*0,1500*	3,68	3,60	*0,0001*	*0,0007*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	1,780	1,344	*0,0011*	*0,0293*	0,676	0,882	*0,0003*	*0,0001*
Mg		0,836	0,640	*0,0007*	*0,0066*	0,293	0,367	*0,0067*	*0,0001*
K		0,360	0,323	*0,0383*	*0,0361*	0,219	0,183	*0,0175*	*0,0006*
Na		0,336	0,462	*0,0002*	*0,0379*	0,358	0,366	*0,6763*	*0,2953*
BT		3,308	2,770	*0,0039*	*0,0433*	1,546	1,797	*0,0029*	*0,0001*
Al		1,147	2,308	*0,0009*	*0,0234*	1,667	1,612	*0,6296*	*0,0295*
CIC		4,454	5,078	*0,0028*	*0,0045*	3,213	3,408	*0,1785*	*0,0006*
SB	%	74,0	55,8	*0,0001*	*0,4372*	50,2	54,6	*0,0044*	*0,0002*
Corg		1,188	1,116	*0,5259*	*0,1290*	0,892	1,070	*0,0181*	*0,2645*

Cuadro 12. Propiedades químicas para el promedio de los horizontes según uso, y significación estadística entre usos y de interacción uso por horizonte, para el sitio 5 de *P. taeda* vs. campo natural.

PROPIEDAD		Sitio 5			
		Uso		Pr > F	
		Campo	Monte	Uso	IntUsoHor
pH(H20)		4,99	4,67	*0,0001*	*0,0784*
pH(KCl)		3,76	3,70	*0,1340*	*0,1831*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	1,813	2,052	*0,2473*	*0,8597*
Mg		0,638	0,760	*0,0686*	*0,9248*
K		0,158	0,140	*0,0432*	*0,1993*
Na		0,347	0,358	*0,5822*	*0,1537*
BT[3]		2,954	3,310	*0,1870*	*0,8834*
Al		0,887	1,137	*0,1615*	*0,9187*
CIC		3,841	4,447	*0,0584*	*0,9504*
SB	%	75,2	72,7	*0,2673*	*0,5555*
Corg		1,018	1,131	*0,2492*	*0,6628*

Cuadro 13. Valores promedio de las propiedades químicas del sitio 1 de *P. taeda* vs. campo natural, y significación estadística entre usos y de interacción uso por sitio, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE								
		A*			E			Bt		
		Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
pH(H_20)		4,83	4,43	*0,0202*	4,83	4,53	*0,0351*	4,63	4,30	*0,0377*
pH(KCl)		3,87	3,63	*0,0198*	3,83	3,67	*0,0377*	3,50	3,43	*0,1835*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	0,483	1,153	*0,0010*	0,753	1,370	*0,0121*	2,017	2,203	*0,1691*
Mg		0,273	0,250	*0,6644*	0,243	0,360	*0,0899*	1,007	0,810	*0,0571*
K		0,177	0,160	*0,1296*	0,120	0,177	*0,1959*	0,350	0,403	*0,4110*
Na		0,387	0,383	*0,8600*	0,363	0,377	*0,5471*	0,417	0,497	*0,1946*
BT[3]		1,310	1,947	*0,0115*	1,480	2,283	*0,0122*	3,790	3,913	*0,4201*
Al		0,413	0,963	*0,0376*	0,413	1,183	*0,0082*	3,397	5,890	*0,0534*
CIC		1,720	2,910	*0,0012*	1,893	3,467	*0,0010*	7,187	9,803	*0,0374*
SB	%	76,3	67,0	*0,1492*	78,7	65,9	*0,0458*	52,8	40,1	*0,0694*
Corg		1,377	1,017	*0,1943*	0,630	0,657	*0,8702*	0,953	0,990	*0,8086*

* Es el promedio de los horizontes Au1 y Au2.

Cuadro 14. Valores promedio de las propiedades químicas del sitio 2 de *P. taeda* vs. campo natural, y significación estadística entre usos y de interacción uso por sitio, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE								
		Au1			Au2			Bt		
		Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
pH(H_20)		4,83	4,73	*0,2254*	4,93	4,93	*1,0000*	4,87	4,73	*0,1835*
pH(KCl)		3,87	3,80	*0,4226*	3,87	3,97	*0,4778*	3,93	3,90	*0,6667*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	0,777	0,687	*0,2157*	0,990	1,050	*0,6707*	2,093	1,793	*0,0321*
Mg		0,323	0,273	*0,2434*	0,400	0,420	*0,6914*	0,937	0,867	*0,1181*
K		0,160	0,153	*0,8755*	0,210	0,193	*0,6242*	0,507	0,320	*0,0841*
Na		0,340	0,300	*0,0202*	0,350	0,333	*0,5876*	0,330	0,347	*0,4226*
BT[3]		1,600	1,413	*0,1480*	1,950	1,997	*0,8513*	3,867	3,327	*0,0354*
Al		0,317	0,537	*0,1384*	0,337	0,243	*0,4761*	0,450	0,390	*0,6697*
CIC		1,917	1,950	*0,4639*	2,287	2,240	*0,7352*	4,317	3,717	*0,0011*
SB	%	83,4	72,7	*0,1310*	85,1	88,9	*0,5432*	89,5	89,4	*0,9905*
Corg		1,070	0,777	*0,2221*	0,753	0,707	*0,8414*	0,813	0,660	*0,5167*

Cuadro 15. Valores promedio de las propiedades químicas del sitio 3 de *P. taeda* vs. campo natural, y significación estadística entre usos y de interacción uso por sitio, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE								
		A			BA			Bt		
		Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
pH(H_20)		4,63	4,30	*0,0099*	4,67	4,53	*0,0572*	4,57	4,57	*1,0000*
pH(KCl)		3,77	3,53	*0,0198*	3,77	3,60	*0,0377*	3,53	3,43	*0,2254*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	0,663	0,627	*0,4493*	1,613	1,127	*0,0134*	3,063	2,280	*0,1279*
Mg		0,207	0,243	*0,0927*	0,727	0,467	*0,0342*	1,573	1,210	*0,1317*
K		0,140	0,140	*1,0000*	0,313	0,210	*0,0364*	0,627	0,620	*0,8534*
Na		0,317	0,357	*0,1946*	0,323	0,460	*0,1292*	0,367	0,570	*0,0631*
BT		1,317	1,367	*0,5876*	2,977	2,263	*0,0291*	5,630	4,680	*0,1837*
Al		0,510	1,263	*0,0291*	0,970	1,373	*0,3113*	1,960	4,287	*0,1141*
CIC		1,827	2,630	*0,0604*	3,947	3,637	*0,3432*	7,590	8,967	*0,0831*
SB	%	72,1	52,3	*0,0060*	75,5	62,8	*0,1783*	74,5	52,4	*0,1275*
Corg		1,437	1,017	*0,2813*	0,910	0,980	*0,5970*	1,217	1,350	*0,3172*

Cuadro 16. Valores promedio de las propiedades químicas del sitio 4 de *P. taeda* vs. campo natural, y significación estadística entre usos y de interacción uso por sitio, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE											
		Au1			Au2			E			Bt		
		Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
pH(H_20)		4,80	4,37	*0,0390*	4,57	4,27	*0,1217*	4,67	4,43	*0,0198*	4,67	4,30	*0,1276*
pH(KCl)		3,80	3,70	*Sin dato*	3,60	3,60	*Sin dato*	3,70	3,67	*0,4226*	3,60	3,43	*0,0377*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	0,610	0,640	*0,5315*	0,400	0,477	*0,0491*	0,553	0,570	*0,8919*	1,140	1,840	*0,0462*
Mg		0,340	0,273	*0,0928*	0,137	0,150	*0,6254*	0,150	0,167	*0,6621*	0,543	0,877	*0,0122*
K		0,250	0,143	*0,0290*	0,230	0,133	*0,0536*	0,177	0,143	*0,2143*	0,220	0,310	*0,2474*
Na		0,377	0,353	*0,6962*	0,353	0,357	*0,7418*	0,343	0,410	*0,1876*	0,360	0,343	*0,8003*
BT		1,577	1,410	*0,0145*	1,120	1,117	*0,9333*	1,223	1,290	*0,6525*	2,263	3,370	*0,0641*
Al		0,743	0,950	*0,0776*	1,513	1,233	*0,1146*	1,373	0,810	*0,0046*	3,037	3,453	*0,2240*
CIC		2,320	2,360	*0,4380*	2,633	2,350	*0,1779*	2,597	2,100	*0,0378*	5,300	6,823	*0,0448*
SB	%	68,3	59,8	*0,0625*	42,5	47,6	*0,0597*	47,1	61,1	*0,0505*	42,8	49,7	*0,1897*
Corg		0,910	1,253	*0,0766*	0,933	0,957	*0,8362*	0,930	0,987	*0,7430*	0,793	1,083	*0,1568*

Cuadro 17. Valores promedio de las propiedades químicas del sitio 5 de *P. taeda* vs. campo natural, y significación estadística entre usos y de interacción uso por sitio, según horizonte.

PROPIEDAD		HORIZONTE								
		A			AB			Bt		
		Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
		Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
pH(H_20)		5,07	4,60	*0,0339*	4,97	4,60	*0,0082*	4,93	4,80	*0,3828*
pH(KCl)		3,87	3,73	*0,1835*	3,77	3,70	*0,4226*	3,63	3,67	*0,4226*
Ca	$cmol_c\ kg^{-1}$	0,740	0,827	*0,1124*	1,377	1,697	*0,0718*	3,323	3,633	*0,6982*
Mg		0,253	0,383	*0,0173*	0,433	0,523	*0,3036*	1,227	1,373	*0,5436*
K		0,150	0,133	*0,1994*	0,140	0,140	*1,0000*	0,183	0,147	*0,1732*
Na		0,337	0,317	*0,6914*	0,293	0,363	*0,0938*	0,410	0,393	*0,7854*
BT		1,477	1,660	*0,0214*	2,243	2,723	*0,0811*	5,143	5,547	*0,7011*
Al		0,667	0,967	*0,1022*	0,670	0,823	*0,2707*	1,323	1,620	*0,2683*
CIC		2,143	2,627	*0,0277*	2,913	3,547	*0,1247*	6,467	7,167	*0,5338*
SB	%	69,0	63,3	*0,2142*	76,8	76,9	*0,9246*	79,7	77,8	*0,5455*
Corg		0,960	1,070	*0,7644*	1,133	1,143	*0,7072*	0,960	1,180	*0,0245*

Cuadro 18. Valores promedio de las propiedades físicas del sitio 1 de *P. taeda* vs. campo natural, y valores estadísticos entre usos, según horizonte.

PROPIEDAD			HORIZONTE								
			5-10 cm A			25-30 cm A			Parte superior Bt		
			Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
			Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
DAP (g cm-3)			1,387	1,374	*0,8947*	1,385	1,461	*0,2978*	1,453	1,378	*0,4278*
0,10	bar	%HV	19,9	18,9	*0,4663*	15,5	15,7	*0,9011*	36,3	31,8	*0,1265*
0,33			13,3	12,8	*0,7404*	10,9	11,8	*0,5102*	35,8	30,7	*0,1271*
1,00			9,6	10,1	*0,6331*	8,6	9,5	*0,6429*	33,9	29,7	*0,1311*
3,00			8,1	6,9	*0,1444*	7,6	8,2	*0,7118*	31,7	28,7	*0,3238*
Porosidad Total		%	47,7	48,1	*0,8988*	47,7	44,9	*0,2974*	45,2	48,0	*0,4306*
Macroporosidad			27,7	29,2	*0,7222*	32,2	29,2	*0,3697*	8,9	16,2	*0,1103*
K (cm h^{-1})			13,046	15,685	*0,4096*	27,079	8,506	*0,0318*	2,022	5,038	*0,3323*

Cuadro 19. Valores promedio de las propiedades físicas del sitio 4 de *P. taeda* vs. campo natural, y valores estadísticos entre usos, según horizonte.

PROPIEDAD			HORIZONTE								
			5-10 cm A			25-30 cm A			Parte superior Bt		
			Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
			Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
DAP (g cm-3)			1,362	1,445	*0,4121*	1,437	1,461	*0,7301*	1,526	1,567	*0,6519*
0,10	bar	%HV	18,6	16,5	*0,1645*	17,6	17,0	*0,5994*	34,6	34,1	*0,8419*
0,33			12,5	11,4	*0,4636*	14,4	13,4	*0,5063*	34,0	32,7	*0,6620*
1,00			9,3	7,3	*0,0761*	13,0	10,5	*0,2258*	31,8	33,0	*0,6299*
3,00			7,0	5,9	*0,1805*	10,9	8,9	*0,2659*	30,2	31,9	*0,5549*
Porosidad Total		%	48,6	45,5	*0,4133*	45,8	44,9	*0,7323*	42,4	40,9	*0,6530*
Macroporosidad			29,9	28,9	*0,8114*	28,2	27,9	*0,9258*	7,8	6,8	*0,7992*
K (cm h^{-1})			23,894	7,438	*0,0025*	8,848	9,915	*0,8781*	0,493	0,319	*0,9534*

Cuadro 20. Valores promedio de las propiedades físicas del sitio 5 de *P. taeda* vs. campo natural, y valores estadísticos entre usos, según horizonte.

PROPIEDAD			HORIZONTE								
			5-10 cm A			25-30 cm A			Parte superior Bt		
			Uso		Pr > F	Uso		Pr > F	Uso		Pr > F
			Campo	Monte		Campo	Monte		Campo	Monte	
DAP (g cm-3)			1,281	1,458	*0,1098*	1,483	1,471	*0,8663*	1,512	1,389	*0,2108*
0,10	bar	%HV	20,5	17,8	*0,0835*	18,0	18,9	*0,4353*	37,2	31,8	*0,0755*
0,33			14,2	13,9	*0,8006*	12,4	14,7	*0,1352*	36,1	29,8	*0,0726*
1,00			10,7	10,6	*0,8711*	10,4	12,3	*0,3474*	34,5	28,9	*0,0593*
3,00			9,0	8,5	*0,4720*	8,0	9,0	*0,5452*	32,0	26,9	*0,1098*
Porosidad Total		%	51,6	45,0	*0,1104*	44,0	44,5	*0,8693*	43,0	47,6	*0,2117*
Macroporosidad			31,1	27,2	*0,3747*	26,0	25,5	*0,8839*	5,7	15,8	*0,0415*
K (cm h^{-1})			11,235	10,423	*0,8302*	4,220	6,995	*0,6918*	0,620	4,548	*0,2187*