

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CUANTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD EN LOS CONTENIDOS Y
DISTRIBUCIÓN DE CARBONO ORGÁNICO, pH, BASES Y ACIDEZ
INTERCAMBIABLE DEL SUELO POR EFECTO DEL CAMBIO DE USO
PASTORIL A FORESTAL CON EUCALIPTO**

por

**Ana Inés AGUERRE CAZES
Luciana DEMARCO GASTELUMENDI**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2012**

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. (MSc) Jorge Hernández

Ing. Agr. (PhD) Amabelia del Pino

Ing. Agr. (MSc) Alejandro González

Fecha: 13 de abril de 2012.

Autor: -----
Ana Inés Aguerre Cazes

Luciana Demarco Gastelumendi

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a todo el Departamento de Suelos y Aguas, principalmente a nuestros tutores Ing. Agr. (MSc). Jorge Hernández e Ing. Agr. (PhD). Amabelia del Pino por el constante apoyo y orientación; a las Lic(s). Gimena Arrarte, Verónica Piñeiro y Jimena Rodríguez por su dedicación y compañía; y a los Ing(s). Agr(s). Álvaro Califra y Nicolás Vázquez.

A la Ing. Agr. Mónica Cadenazzi del Departamento de Biometría, Estadística y Computación.

Finalmente, a nuestras familias por todo el apoyo durante todas las instancias de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 EFECTO DE LA FORESTACIÓN EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE SUELOS.....	3
2.1.1 <u>Carbono orgánico</u>	3
2.1.2 <u>pH y acidez intercambiable del suelo</u>	6
2.1.3 <u>Bases de intercambio</u>	7
2.1.4 <u>Otras propiedades</u>	9
2.2 VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.....	10
2.2.1 <u>Análisis de datos</u>	12
2.2.1.1 Análisis geo-estadístico.....	12
2.2.1.2 Análisis multivariado.....	12
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	14
3.1 DISEÑO DE MUESTREO.....	14
3.2 ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	15
3.3 ÁREA DE ESTUDIO.....	16
3.4 ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD Y NÚMERO MÍNIMO DE MUESTRAS.....	20
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	22
4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO.....	22
4.2 INTERVALOS DE CONFIANZA.....	23
4.3 VARIACIÓN EN PROFUNDIDAD.....	28
4.3.1 <u>Variación en profundidad del carbono orgánico</u>	29
4.3.2 <u>Variación en profundidad de la acidez</u>	30
4.3.2.1 Variación en profundidad del pH.....	30
4.3.2.2 Variación en profundidad de la acidez intercambiable.....	32
4.3.2.3 Relación pH medido en H ₂ O – acidez intercambiable...	33
4.3.3 <u>Variación en profundidad de las bases intercambiables</u>	34
4.3.3.1 Variación en profundidad de las bases totales intercambiables.....	34
4.3.3.2 Variación en profundidad del calcio intercambiable....	35
4.3.3.3 Variación en profundidad del magnesio intercambiable.	37
4.3.3.4 Variación en profundidad del potasio intercambiable...	38
4.4 DESCRIPCIÓN GEO-ESTADÍSTICA.....	39
4.5 ANÁLISIS MULTIVARIADO.....	40
4.5.1 <u>Profundidad 0-5 cm</u>	40

4.5.2	<u>Profundidad 5-10 cm</u>	41
4.5.3	<u>Profundidad 10-15 cm</u>	42
4.5.4	<u>Profundidad 15-20 cm</u>	43
4.5.5	<u>Horizonte transicional</u>	44
4.5.6	<u>Horizonte Bt</u>	45
4.6	<u>CÁLCULO DEL TAMAÑO MÍNIMO DE MUESTRA</u>	46
4.6.1	<u>Carbono orgánico</u>	47
4.6.2	<u>Acidez</u>	48
4.6.3	<u>Bases intercambiables</u>	53
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	58
6.	<u>RESUMEN</u>	60
7.	<u>SUMMARY</u>	61
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	62
9.	<u>ANEXOS</u>	66

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Descripción de dos perfiles de suelo bajo monte del sitio experimental Tres Bocas.....	16
2. Descripción de dos perfiles de suelo bajo campo del sitio experimental Tres Bocas.....	18
3. Datos analíticos de los perfiles de suelo bajo monte del sitio experimental Tres Bocas.....	19
4. Datos analíticos del perfil de suelo bajo campo del sitio experimental Tres Bocas.....	20
5. Parámetros químicos promedio, desviación estándar, y coeficiente de variación por profundidad de muestreo.....	22
6. Intervalo de confianza, medias y error estándar para el contenido de Carbono orgánico del suelo para todas las profundidades.....	23
7. Intervalo de confianza, medias y error estándar para acidez del suelo para todas las profundidades, medido en H ₂ O y KCl.....	24
8. Intervalo de confianza, medias y error estándar para la acidez intercambiable del suelo para todas las profundidades.....	25
9. Intervalo de confianza, medias y error estándar para el contenido de Potasio intercambiable del suelo para todas las profundidades.....	26
10. Intervalo de confianza, medias y error estándar para el contenido de Calcio intercambiable del suelo para todas las profundidades.....	26
11. Intervalo de confianza, medias y error estándar para el contenido de Magnesio intercambiable del suelo para todas las profundidades.....	27
12. Intervalo de confianza, medias y error estándar para el contenido de Bases Totales intercambiables del suelo para todas las profundidades.....	27
13. Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de Carbono orgánico según el nivel de precisión requerido.....	47
14. Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de pH medido en agua y en KCl según el nivel de precisión requerido.....	49
15. Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de Acidez intercambiable según el nivel de precisión requerido.....	51
16. Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de Bases Totales según el nivel de precisión requerido.....	53
17. Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de Ca ²⁺ intercambiable según el nivel de precisión	

requerido.....	54
18. Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de K^+ intercambiable según el nivel de precisión requerido.....	55
19. Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de Mg^{2+} intercambiable según el nivel de precisión requerido.....	56

Figura No.

1. Sitio de muestreo.....	14
2. Vista del sitio.....	14
3. Croquis del muestreo realizado.....	15
4. Perfil de suelo bajo monte.....	18
5. Perfil de suelo bajo campo.....	19
6. Distribución del C orgánico del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.....	30
7. Distribución del pH (H_2O) del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.....	31
8. Distribución del pH (KCl) del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.....	32
9. Distribución del Ac. intercambiable del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.....	33
10. Relación de las variables pH (H_2O)- acidez intercambiable para ambos manejos.....	34
11. Distribución de las Bases Totales intercambiables del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.....	35
12. Distribución del Ca^{2+} intercambiable del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.....	36
13. Distribución del Mg^{2+} intercambiable del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.....	37
14. Distribución del K^+ intercambiable del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.....	38
15. Kriging obtenido con el semivariograma empírico de mayor ajuste correspondiente al contenido de bases intercambiables total en los 5 primeros cm bajo campo natural.....	39
16. Kriging correspondiente al contenido de bases intercambiables total en los 5 primeros cm bajo monte, basado en el semivariograma empírico de mayor ajuste.....	40
17. Análisis de Componentes Principales para la profundidad de 0 a 5 cm.....	41
18. Análisis de Componentes Principales para la profundidad de 5 a 10 cm.....	42

19. Análisis de Componentes Principales para la profundidad de 10 a 15 cm.....	43
20. Análisis de Componentes Principales para la profundidad de 15 a 20 cm.....	44
21. Análisis de Componentes Principales para la el horizonte Transicional.....	45
22. Análisis de Componentes Principales para el horizonte Bt.....	46

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca en el proyecto “Mejores prácticas de manejo de suelos en plantaciones y re-plantaciones de eucalipto y pino”. A través del mencionado proyecto, se han intentado cuantificar los cambios que está generando la forestación en las propiedades químicas y físicas de suelos que en su origen estaban mayoritariamente afectados al uso ganadero extensivo bajo pasturas naturales.

Desde la promulgación de la Ley Forestal No. 15.939 del año 1987, la cual ha tenido como cometido la promoción de la producción, así como actividades de investigación y extensión, la producción forestal ha experimentado un importante crecimiento. Actualmente las especies plantadas corresponden principalmente a dos géneros: *Pinus* y *Eucalyptus*, con 274.570 y 677. 000 has. plantadas, respectivamente (URUGUAY. MGAP. DGF, 2007), mayoritariamente en suelos de baja productividad para producciones agrícola-ganaderas. Los principales objetivos de dicha producción forestal son pulpa y madera sólida, determinando rotaciones con turnos cortos (9-10 años) y largos (20-25 años) respectivamente.

Este crecimiento ha determinado el desarrollo de la forestación de zonas con manejos previos diferentes, como pasturas naturales o agricultura. Esto implicó un cambio en el uso de los recursos naturales del sistema, lo cual causó una variación en la utilización del agua del suelo, infiltración, captación de agua por el follaje, escurrimiento superficial, evapotranspiración desde el suelo, y transpiración de agua por las plantas. Además de esto, ocurre un aumento de la erosión en momentos en que el suelo está desnudo, y su disminución luego de los 2 o 3 primeros años de plantación, degradación de los suelos, compactación por el uso de maquinaria pesada, y cambios en el aporte y extracción de nutrientes. Asimismo, pueden mencionarse ejemplos claramente benéficos para el ambiente como es la captación de grandes cantidades de carbono atmosférico por el follaje de los árboles, lo que disminuye el efecto invernadero (Martino et al., 1997).

Trabajos nacionales han constatado cambios en algunos parámetros químicos de suelo, como el pH, la acidez intercambiable y el contenido de Ca, Mg y K de los suelos por el cambio de uso de pastoril a forestal (Pérez Bidegain et al. 2001, Cabrera y Cal 2007, Durán et al. 2007). Con respecto al contenido de carbono orgánico del suelo (COS), las tendencias no han resultado claras. Si bien trabajos anteriores han mostrado las tendencias generales respecto a los cambios, es importante su cuantificación a nivel predial, con el objetivo de desarrollar prácticas de manejo adecuadas a cada condición particular, que permitan mantener la sostenibilidad de los sistemas (Hernández, 2011).

Las propiedades químicas anteriormente mencionadas, presentan una variabilidad espacial importante, principalmente en los primeros centímetros de suelo bajo monte, comparado con un suelo bajo pastura natural. Asimismo, se ha observado que existe una mayor estratificación en el contenido de COS, pH, bases y aluminio intercambiable con la profundidad bajo manejo forestal en comparación con un suelo bajo manejo pastoril. Lo anterior tiene como consecuencia que a los efectos de diagnosticar los cambios de propiedades de suelo en un programa de monitoreo del recurso, deben establecerse criterios de muestreo apropiados.

En base a esto, los objetivos que se persiguen con el presente trabajo son:

- Cuantificar la magnitud y los patrones de variación en sentido horizontal y vertical en los contenidos de COS, pH, bases y aluminio intercambiable de un suelo CONEAT 09.3 en la zona de Tres Bocas (Dpto. de Río Negro), bajo dos situaciones de uso del suelo: manejo forestal, con *Eucalyptus dunnii* de diez años de edad; y manejo pastoril bajo campo natural.
- Definir criterios de muestreo adecuados para la cuantificación de los contenidos de COS, pH, bases de intercambio y aluminio intercambiable en situaciones de manejo forestal y pastoril.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EFECTO DE LA FORESTACIÓN EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE SUELOS

2.1.1 Carbono orgánico

La materia orgánica del suelo (MOS) comprende restos orgánicos del suelo como biomasa viva, residuos aun reconocibles de plantas y animales, y una mezcla de sustancias amorfas y coloidales (Brady y Weil, 2008).

Ésta contribuye al crecimiento de las plantas a través del aporte de nutrientes como N, P, y S mediante el proceso de mineralización, y mantenimiento de la actividad biológica de la microflora y meso fauna del suelo. También promueve la mejora en la estructura del suelo, la cual a su vez aumenta la aireación y retención de humedad, favoreciendo el crecimiento tanto vegetal como de los organismos del suelo (Silva, 2001).

Según Morón (1996) la materia orgánica es un factor decisivo para la sustentabilidad de los sistemas productivos, e influye sobre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, como: densidad aparente, porosidad, estructura, infiltración, retención y transmisión del agua en el perfil del suelo, retención de bases intercambiables, poder buffer sobre cambios de pH, fijación y liberación de los nutrientes esenciales, así como la cantidad y la actividad de la microflora del suelo.

Asimismo, la deposición de materia orgánica mejora las características físicas del suelo, reduce las pérdidas por lixiviación, volatilización y erosión, por la liberación gradual de nutrientes y la protección al impacto por las gotas de lluvia (González, 2008).

El contenido de MOS puede dividirse en varios pool: fracción activa, pasiva y lenta según la tasa de descomposición. En la fracción activa se incluyen aquellos materiales que pueden ser metabolizados en corto tiempo, con una alta relación C/N (de 15 a 30), como ser biomasa viva, polisacáridos y sustancias no húmicas, y algunos de los más lábiles ácidos fúlvicos. Contribuye con la estabilidad estructural, infiltración de agua, resistencia a la erosión, y facilidad al laboreo (Brady y Weil, 2008). La materia orgánica es rápidamente incrementada cuando se incorporan restos frescos; tal es el caso de los suelos forestales en los que una gran cantidad de hojarasca y corteza es acumulada en la superficie como mantillo, formando un horizonte O, aumentando en estos la

cantidad de carbono orgánico (COS) en superficie en relación a una situación de manejo anterior (Delgado et al., 2006).

“Dichos restos son el principal sustrato de toda la actividad biológica y sus productos de descomposición los principales agentes cementantes de las partículas del suelo para formar agregados en el corto plazo” (Six et al., citados por Durán y García Préchac, 2007).

La fracción pasiva comprende materiales más estables, por lo que su cantidad varía muy lentamente. Incluye la mayoría del humus protegido en complejos arcilla-humus, humina y muchos ácidos húmicos. Es responsable de la mayor parte de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad de almacenaje de agua del suelo (Brady y Weil, 2008).

La fracción lenta incluye materiales cuyas velocidades de descomposición son intermedias, tales como tejidos de planta finamente divididos, lignina y otros. Esta tiene la función de aportar nutrientes para los vegetales y microorganismos.

En suelos con forestación, el uso previo determina cambios en el contenido de MOS, su distribución en el perfil del suelo, y su patrón de descomposición. Una de las principales causas de cambio en las diferentes propiedades químicas de los suelos es el cambio en el tipo, lugar de deposición y descomposición de los residuos vegetales cuando ocurre el cambio de uso del suelo de pastoril a forestal (Delgado et al., 2006).

Foth et al., citados por Delgado et al. (2006) mencionan que ocurre un cambio en cantidad y distribución del contenido de MOS, en los diferentes horizontes y en el conjunto del suelo. En un experimento para evaluar el efecto de las diferentes intensidades de laboreo, se observa que en los tres primeros años de plantación ocurre una disminución del contenido de COS solamente en los primeros 5 cm de suelo, en filas con mayor intensidad de laboreo en relación a la pastura natural. Por lo tanto, en los primeros años de plantación, el laboreo sería responsable del cambio en el contenido de COS, y no así el cambio del tipo de vegetación (García Préchac et al., citados por Delgado et al., 2006). El laboreo favorece la destrucción de la estructura del suelo y conduce a la oxidación de la MOS (Martino et al., 1997), a causa del aumento de la temperatura del suelo en ausencia de vegetación, aumento de la oferta de agua y la incorporación de materia orgánica (Henderson, citado por Philip et al., 2000)

Por otra parte, en un experimento realizado por García Préchac et al. (2001) instalado en un Argisol de la unidad Algorta en Paysandú, con el fin de evaluar el efecto de la intensidad de laboreo en el crecimiento aéreo y radicular de *Eucalyptus dunnii* de

tres años de edad, y sobre algunas propiedades químicas y físicas del suelo, se encontró una disminución del contenido de COS en los primeros 2,5 cm en la fila forestada en relación al suelo con pastura natural. Esta diferencia, sin embargo, no se encontró en la entrefila, en donde no se evidenciaron diferencias significativas en ningún horizonte. Estos resultados indicarían que en estos primeros años de la plantación todavía no se evidenciaría el efecto del cambio de vegetación sino que predominaría el efecto del laboreo así como su intensidad (Delgado et al., 2006).

Según Durán y García Préchac (2007), los cambios en el contenido de COS por efecto de la forestación se restringen a los primeros 5 cm del perfil, predominando en el corto plazo los efectos de la intensidad de laboreo como causa de disminución. Sin embargo, si los efectos del laboreo fueron significativos, en el largo plazo predominan sobre los efectos causados por el cambio de vegetación.

Según Pérez Bidegain et al. (2001) se produce una reducción del contenido de COS en los primeros 15 cm del perfil en la fila de plantación. Esto es consecuencia del laboreo y del cambio del uso del suelo dado por la sustitución de las pasturas por la forestación con eucalipto.

Comparando el contenido de COS bajo manejo pastoril respecto al contenido bajo manejo forestal con *E. grandis* y *P. taeda* mayores de quince años de edad, se ha observado una estratificación importante en éste último manejo. Esta estratificación estaría explicada por la presencia del mantillo forestal. Sin embargo a mayores profundidades no hay diferencias significativas entre ambos manejos (Hernández et al., 2008).

Según Philip et al. (2000) el cambio en el contenido de COS depende asimismo de la edad de plantación. En los diez primeros años se observa una disminución en los 10 cm. superiores, y un aumento en profundidades mayores a 10 cm. Luego de los diez años de plantación ocurre un incremento en superficie del contenido de COS similar o aun mayor al observado en profundidad.

La formación de un horizonte orgánico (horizonte O), ocurre en suelos con forestación debido a la acumulación de mantillo en superficie. La acumulación de carbono en este horizonte es importante en comparación con el contenido de carbono orgánico en suelos con pastura. Este podría contrarrestar la disminución de carbono que ocurre en superficie al forestar un suelo que se encontraba previamente bajo pastura natural (Delgado et al., 2006). Se ha sugerido que la presencia de este nuevo horizonte en suelos forestados con *Eucalyptus* sp. disminuye la magnitud del efecto invernalero mediante el secuestro de carbono atmosférico por parte de la biomasa aérea que luego constituirá el mantillo formador del horizonte O (Durán y García Préchac, 2007).

Según Durán y García Préchac (2007) el contenido de carbono orgánico en el mantillo depositado bajo plantaciones de *Eucalyptus* sp. de ocho a diez años de edad en la zona de Piedras Coloradas, sería del orden de 9 toneladas (Mg) de carbono orgánico por ha. Estos datos fueron confirmados por Hernández et al. (2009), para una plantación de *Eucalyptus dunnii* de 9 años de edad de la zona de Algorta.

2.1.2 pH y acidez intercambiable del suelo

Se entiende por acidez intercambiable a aquella fracción del suelo representada por hidrógeno y aluminio bajo formas de H^+ y Al^{+3} retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas (Bernier et al., 2006).

Según Durán y García Préchac (2007), existen evidencias de que los suelos bajo forestación con *Eucalyptus* sp. presentan menores valores de pH y mayores contenidos de Al intercambiable que aquellos que permanecen bajo la vegetación previa. Estos cambios se observaron poco tiempo después de la plantación en un trabajo realizado en plantaciones de más de diez años en suelos de Rivera, pertenecientes a la empresa COFUSA.

Su principal causante sería el cambio en los procesos de formación de suelos que se dan a partir de un cambio en la vegetación, por el cual los restos depositados son diferentes en cuanto a composición y lugar de deposición. Se generan dos situaciones contrastantes en las que, por un lado los restos provenientes de vegetación de pastura son principalmente componentes radiculares incorporados al suelo, mientras que aquellos de origen forestal se componen principalmente de hojas muertas que permanecen en superficie. Estas diferencias determinan que la materia orgánica y su dinámica varíen; los restos forestales presentan compuestos muy móviles, de cadena corta y ricos en grupos funcionales capaces de ionizar H^+ y ser fuente de acidez en el suelo (Delgado et al., 2006). Otro factor que determina la disminución del pH es la oxidación de la materia orgánica. Por este proceso, se libera amonio (NH_4^+), el cual está sujeto a la oxidación microbiana que lo convierte en iones nitrato (NO_3^-). Esta reacción libera dos iones H^+ por cada ion de NH_4^+ oxidado, disminuyendo el pH del suelo (Brady y Weil, 2008).

Cuando los iones H^+ son adsorbidos por la superficie de una arcilla, usualmente no permanecen por mucho tiempo como cationes intercambiables, pero en su lugar atacan la estructura de los minerales, liberando en ese proceso iones de Al^{+3} . Estos son entonces adsorbidos por los sitios de intercambio catiónico del coloide (Brady y Weil, 2008).

Los iones de Al^{+3} tienen una fuerte tendencia de hidrolizar, dividiendo las moléculas de agua en iones OH^- y H^+ . El aluminio se combina con los iones OH^- , dejando a los iones H^+ libres bajando el pH de la solución del suelo. Por esta razón, Al^{+3} y H^+ conjuntamente son considerados cationes ácidos. Un solo ión de Al^{+3} puede liberar hasta tres iones H^+ (Brady y Weil, 2008).

Según Foth et al., citados por Delgado et al. (2006) la movilidad del H^+ les permite infiltrar junto con el agua en el suelo y acumularse hasta la profundidad en que el movimiento descendente del agua es limitado por la aparición del horizonte B.

La riqueza de H^+ que se genera en el suelo sustituye a los cationes de las posiciones de intercambio y ataca estructuras cristalinas principalmente de los minerales secundarios. Esto produce la liberación de Al^{+3} , parte del cual pasa a ser intercambiable (Foth et al., citados por Delgado et al., 2006).

La marcada tendencia de disminución del pH y aumento de la acidez intercambiable han sido observados en los horizontes A y B del perfil, tanto en plantaciones de rotaciones largas (mayores a quince años), así como también en rotaciones cortas (diez años). Además cabe destacar que dicha tendencia se ha observado en plantaciones de pino y de eucalipto (Hernández, 2010).

En un estudio realizado por Pérez Bidegain et al. (2001) se concluyó que para el horizonte A de siete suelos de distintas zonas del país, muestreados en las profundidades 0-2,5; 2,5-5; 5-10 y 10-15 cm, tanto en monte como en pradera; el valor de pH medido en KCl fue menor y la acidez intercambiable mayor bajo monte, mientras respecto al valor de pH medido en H_2O no se encontraron diferencias. Los suelos tomados en cuenta para este estudio correspondían a la zona litoral (Paysandú y Río Negro), Tacuarembó, Rivera y Lavalleja. Estos se encontraban forestados con *Eucalyptus* sp. de entre seis y diez años de edad. Tanto el pH en KCl como la acidez intercambiable fueron medidos con KCl 1M.

Según Cabrera y Cal (2007), en una evaluación realizada en plantaciones de más de quince años de edad sobre suelos de Rivera donde se llevó a cabo la comparación de diferentes parámetros en los horizontes A y B, se observó que el aumento de la acidificación y la disminución de las bases totales ocurrieron en todas las profundidades muestreadas. Las diferencias fueron del orden de 0.4 y 0.5 unidades promedio en el pH medido en agua para los horizontes A y B respectivamente, mientras que el pH medido en KCl disminuye 0.3 y 0.2 unidades promedio en el horizonte A y B, respectivamente. De acuerdo con estos datos se concluye que la acidez intercambiable es mayor bajo monte, sin embargo bajo este mismo manejo las bases intercambiables disminuyen.

2.1.3 Bases de intercambio

Ca, Mg, K y Na conforman las bases intercambiables del suelo, y definen en gran parte su fertilidad, principalmente Ca, Mg y K.

El Ca^{2+} intercambiable es más fuertemente retenido por los coloides que el K^+ o Mg^{2+} intercambiables. Esto determina que, al aumentar la concentración de Ca^{2+} intercambiable en el suelo, puede aumentar la lixiviación de Mg^{2+} intercambiable desde el perfil del suelo. Lo mismo ocurre en condiciones ácidas, en las cuales los cationes Al^{3+} y H^+ lo reemplazan en las posiciones de intercambio.

El porcentaje de saturación de bases representa la proporción de bases que hay respecto del total de la capacidad de intercambio de cationes (CIC), siendo esta última una medida de la cantidad de cationes fácilmente intercambiables que neutralizan la carga negativa de las partículas del suelo (Durán y García Préchac, 2007). También debe considerarse que cuanto más ácido es un suelo, menor será la saturación en bases del mismo, ya que muchas posiciones de intercambio estarán ocupadas por Al^{3+} .

En nuestros suelos, el K y el Ca intercambiables se encuentran entre 0,05 y 1,5 $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$, y entre 0,5 y 30 $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente, lo que determina que no se presenten comúnmente situaciones de deficiencia de estos nutrientes. Mientras que los niveles de Mg^{2+} intercambiable se encuentran entre 0,3 y 10 $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ (Casanova y Ferrando, 2010).

En condiciones de suelo ácidas, como las que se mencionan para suelos forestados, el ión Ca^{2+} es remplazado por Al^{3+} y H^+ del complejo de intercambio catiónico, pudiendo ocurrir pérdidas por lixiviación de este elemento (Fageria, 2009).

Esto es lo que ocurre en suelos bajo forestación con *Eucalyptus* sp., los cuales presentan menores valores de saturación en bases que aquellos que permanecen bajo la vegetación previa (Durán y García Préchac, 2007).

Cuando el pH aumenta se forman iones hidroxil-aluminios, muchos de los cuales son fuertemente adsorbidos por las superficies de arcillas o formando complejos con la materia orgánica. A menudo, los iones de hidroxil-aluminio se unen todos juntos formando largos polímeros con muchas cargas positivas. Cuando estos polímeros están fuertemente atraídos por los sitios de cargas negativas del coloide, se vuelven no intercambiables y enmascaran la mayor parte de la capacidad de intercambio catiónico del coloide. Como el pH sube y gran parte de los iones de hidroxil-aluminios precipitan

bajo forma de $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ sin carga, los sitios negativos de los coloides quedan disponibles para el intercambio catiónico (Brady y Weil, 2008).

Esta es una de las razones del aumento de la CIC del suelo cuando el pH sube desde 4.5 hasta 7.0; pH al cual prácticamente todos los cationes de aluminio han precipitado en forma de $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ (Brady y Weil, 2008).

El cambio de uso de suelo de pastoril a forestal determinó una disminución del contenido de bases intercambiables en el horizonte A, mientras que en el horizonte B dicha disminución solamente fue constatada bajo plantaciones mayores a quince años (Hernández, 2010).

Como se mencionó en el ítem anterior, según Cabrera y Cal (2007), complementariamente al aumento de H^+ y la consecuente liberación de Al^{+3} , en suelos bajo manejo forestal existe una alta extracción de bases intercambiables del suelo, parte de las cuales son exportadas por la cosecha de productos forestales, mientras que otra parte es reciclada a través de los restos de cosecha dejados en superficie. A lo largo de sucesivos turnos de plantación, la extracción de bases intercambiables del suelo podría llegar a limitar la producción, siendo necesaria su incorporación a partir de enmiendas como la dolomita (que aporta Ca y Mg), y la realización de fertilizaciones potásicas. Dichas prácticas, por otra parte, tienen un efecto compensatorio en el proceso de acidificación.

2.1.4 Otras propiedades

En cuanto a la extracción de nutrientes, Martino et al. (1997), hace referencia a un estudio realizado por Gonçalves (1995) en Brasil en un monte de *Eucalyptus grandis*, con una productividad de 290 m^3 por hectárea, donde la madera y corteza cosechadas contenían 158, 172, 124 y 21 kg ha^{-1} de N, K, Ca y P, respectivamente. Las plantaciones forestales son principalmente fertilizadas con P, observándose altas extracciones de Ca y K, principalmente cuando no se retira en el campo la corteza al momento de la cosecha. Asimismo, se observa una alta inmovilización del nitrógeno en la MOS, dada la composición química de los residuos, lo que podría llevar a una deficiencia de este nutriente (Martino et al., 1997).

Según Lima, citado por Martino et al. (1997) la magnitud de la extracción de nutrientes por ejemplares del género *Eucalyptus*, es menor con la edad de los mismos. A los siete u ocho años de edad la extracción de nutrientes es aún alta, pudiendo ocasionar problemas de deficiencias en el mediano plazo.

Según Bellote et al., citados por Goya et al. (1997) las plantaciones en fase juvenil retienen la mayor cantidad de nutrientes en sus tejidos, por lo tanto para rotaciones cortas, cuando el rodal es cosechado antes de haber alcanzado su máxima concentración de nutrientes, la magnitud de la remoción de los mismos podría alcanzar valores importantes. En cosechas a los cinco y ocho años se observó un aumento de la remoción de N y P (Bellote et al., Poggiani, Birck y Turner, citados por Goya et al., 1997). Sin embargo, la extracción de Ca aumenta con la edad de la plantación (Goya et al., 1997).

En otro estudio realizado por Hernández et al. (2009) con el objetivo de cuantificar el contenido y distribución de nutrientes en diferentes residuos de cosecha de una plantación de *Eucalyptus dunnii* de nueve años de edad, se encontró que el 61% de la biomasa forestal es exportada con la madera en la cosecha. Con ésta se extraen el 27%, 35%, 18%, 16% y el 41% de N, K, P, Ca y Mg presentes en la biomasa total. Cuando la madera es retirada con corteza, estas cantidades aumentan a 41%, 55%, 46%, 68% y 66% de los nutrientes mencionados, respectivamente. Esto indica la importancia de mantener el material no utilizado en el bosque, permitiendo así no solamente el reciclaje de nutrientes, sino también disminuyendo la erosión del suelo (González, 2008).

En general la extracción anual de nutrientes disminuye según la edad de plantación (Lima, citado por Martino et al., 1997), lo que podría implicar el agotamiento de las reservas de algunos nutrientes en el mediano plazo en rotaciones muy cortas.

González (2008) estudió la tasa de descomposición de restos de cosecha de *E. globulus*, encontrando que ésta varió según el material evaluado. Menciona que en dos años se descompuso el 30% del material, observándose una mayor tasa de descomposición en hojas, de las cuales se encontraba un remanente del 31,7% a los 24 meses. En los dos años de estudio, se liberaron a partir de los restos de cosecha 24.4, 5.4, 36.4, 111.3 y 12.8 Mg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, y Mg respectivamente, de un total de 31,7 Mg ha⁻¹ de biomasa de restos.

Dado que la reforestación se realiza al año siguiente de la cosecha, estos nutrientes no estarían aún disponibles. Asimismo, en el caso del N pueden producirse pérdidas durante la descomposición. Por otra parte, los cationes como K, Ca y Mg pueden ser reutilizados de forma inmediata. Sin embargo, la lenta descomposición de algunos residuos puede considerarse un aspecto positivo desde el punto de vista de la reutilización de nutrientes, dado que permite su absorción en el mediano y largo plazo a medida que el nuevo bosque crece (González, 2008).

2.2 VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Las propiedades, tanto físicas como químicas, del suelo poseen una gran variabilidad. Según Bachmeier y Cora (2006), esto implica tener que tomar un número suficiente de muestras de la unidad espacial objeto de estudio para realizar una adecuada estimación de sus parámetros poblacionales. Por tal razón la información previa con la que se cuente es de gran importancia ya que de ésta se obtienen las pautas para realizar un muestreo representativo del área en estudio. Parte de esta información previa corresponde al conocimiento de un número mínimo de muestras a tomar, de manera de minimizar las causas de error, para cada variable en cada ambiente (Bachmeier y Cora, 2006).

En cuanto a la variabilidad horizontal según Burrough y McDonell, citados por Henríquez et al. (2005), la variación de los distintos parámetros de suelo a través del espacio físico es causada por factores propios del suelo y externos al mismo. Entre los primeros se encuentra el caso de los cambios litológicos a través de un área determinada, dados por el material parental. Ocurre, asimismo, una variación causada por cambios que ocurren en el tiempo, como ser el cambio de manejo en un área determinada (Bertsch et al., citados por Henríquez et al., 2005).

Blumfield et al. (2007) mencionan que los suelos forestales tienen como característica su importante variabilidad espacial. Según Paz-González et al., citados por Blumfield et al. (2007), las prácticas de manejo forestales pueden determinar una significativa variabilidad tanto a pequeña como a gran escala.

Según Kravchenko y Robertson (2011) el contenido de carbono en el suelo varía de forma importante en profundidad, lo que determina que los diferentes horizontes sean muestreados separadamente de forma de que las diferencias que existen realmente a nivel espacial, puedan ser detectadas mediante una prueba estadística. Este autor, en un análisis para determinar el número de muestras necesario para encontrar una diferencia significativa en el contenido de carbono en tres horizontes de once sitios del este de Estados Unidos, encontró que a medida que se avanza en profundidad disminuye la variabilidad en esta variable, y por lo tanto el número de muestras necesarios. Se encontró que para detectar con un 90% de confianza el 50% de la variabilidad existente en el contenido de carbono en el horizonte medio (30-40 cm.) es necesario realizar al menos seis tomas, mientras que para el horizonte profundo (40-50 cm) serían suficientes apenas dos tomas.

2.2.1 Análisis de datos

2.2.1.1 Análisis geo-estadístico

Otra herramienta utilizada para el estudio de la variabilidad del suelo es la geoestadística, la cual utiliza herramientas descriptivas como semivariogramas o covariogramas con el fin de determinar un patrón espacial de variación de las propiedades del suelo, y a su vez lograr predecir valores de los parámetros estudiados en sitios no muestreados a través del método de interpolación Kriging (Goovaerts, 1997). Los semivariogramas estimados describen la dependencia medida por la semivarianza de las variables consideradas entre los puntos muestreados en función de la distancia entre puntos y su dirección (Wollenhaupt, 1997). El resultado es, generalmente, un mapa de dos dimensiones (Wollenhaupt, 1997) con la probabilidad de exceder valores críticos, a través del ajuste del semivariograma por modelo apropiado (Goovaerts, 1997), en el cual los puntos más cercanos son probablemente más similares entre sí en relación a puntos más lejanos (Wollenhaupt, 1997).

2.2.1.2 Análisis multivariado

Las variables también pueden ser estudiadas mediante el análisis multivariado. Según López y Lozares (1991) este consiste en *“todo aquel método o técnica que exceda o vaya mas allá del bivariado”*. Este gana complejidad a medida que el número de variables aumenta.

Según Kendall, citado por López y Lozares (1991), el análisis multivariado es una rama de la estadística que se enfoca en el estudio de la relación entre series de variables dependientes de los individuos que las sustentan.

Es utilizado cuando los datos incluyen medidas simultáneas de muchas variables ya que surge la necesidad de entender las relaciones entre éstas (Johnson y Wichern, 1982).

De todas las técnicas que presenta el análisis multivariado, en este trabajo se referirá al Análisis de Componentes Principales (ACP).

Según Johnson y Wichern (1982) el ACP tiene como objetivo explicar la estructura de la varianza-covarianza del total de las observaciones mediante unas pocas combinaciones lineales de las variables originales. Sus objetivos generales son: reducción del número de dimensiones en las que se manifiesta el mismo fenómeno multidimensional e interpretación de dichas dimensiones. Si bien el total de los

componentes (p) es requerido para reproducir la variabilidad total del sistema, a menudo gran parte de esta variabilidad puede ser representada por un número menor de los componentes principales (k). En caso de que sea así, existe casi la totalidad de la información en los componentes k que en las variables p iniciales. Por lo tanto, los componentes principales k pueden sustituir las variables originales p , y el conjunto de datos inicial, consistiendo que n mediciones de p variables es reducido a n mediciones en k componentes principales con la consecuente reducción de dimensionalidad de la descripción.

El análisis de componentes principales a menudo revela relaciones que previamente no habían sido sospechadas, y por lo tanto permite realizar interpretaciones que de lo contrario no serían posibles.

Los nuevos ejes representan las direcciones con máxima variabilidad y proveen una descripción más simple y parsimoniosa de la estructura de la covarianza.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DISEÑO DE MUESTREO

Se realizó el estudio en una plantación de *Eucalyptus dunnii* de diez años de edad, aledaña a un área de suelo mantenida inalterada durante el ciclo de la plantación (pastura natural), ambas presentando el mismo suelo dominante.

Se muestra a continuación la imagen satelital del sitio de muestreo obtenida de Google Earth (Figura 1), así como una vista del sitio (Figura 2).



Figura 1- Sitio de muestreo.



Figura 2- Vista del sitio.

Para el muestreo se marcó una grilla de muestreo de 25 x 25 m (25 puntos de muestreo) para ambos manejos. Los puntos estaban distanciados 5 m entre sí. Se tomaron muestras compuestas de ocho tomas de suelo en cada punto, individualmente para cuatro profundidades (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) (Figura 3). En los cinco puntos de una de las diagonales de la grilla se tomaron además, muestras compuestas de cinco tomas del horizonte transicional (E o AB) y del horizonte B del suelo. Los puntos de muestreo en el monte fueron ubicados en la entrefila de plantación, muestreándose una entrefila y saltando la siguiente.

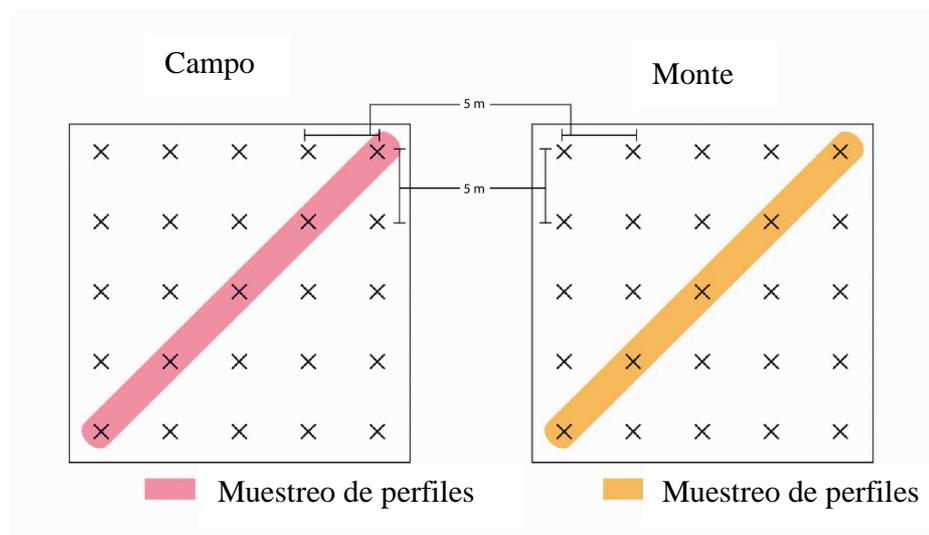


Figura 3- Croquis del muestreo realizado.

Se realizó, asimismo el muestreo del mantillo, realizando seis tomas al azar dentro del monte, recolectándose el mantillo de un área de 1 m². Las muestras fueron pesadas a campo, tomándose una sub-muestra de cada una de ellas para el cálculo de materia seca y análisis posterior.

3.2 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras de suelo fueron inicialmente secadas en estufa a 45° C, durante aproximadamente 48 horas, molidas y tamizadas, para luego ser embolsadas manteniendo su etiqueta de identificación correspondiente.

Se realizó la determinación de COS mediante el método de Walkley-Black, utilizando en la titulación la solución de Sal de Mohr.

La medida del pH se realizó por potenciometría, medido tanto en agua como en Cloruro de Potasio (KCl) 1M con una relación suelo-solución de 1:2,5.

Las bases de intercambio (BT) fueron extractadas mediante acetato de amonio 1M con una relación suelo-solución de 1:10, y posterior determinación por espectrofotometría de absorción atómica (Ca y Mg) y de emisión (K y Na). La acidez intercambiable (AI) fue extractada con cloruro de potasio 1M (KCl), y titulación posterior con hidróxido de sodio 0,05 M (NaOH) con bureta digital. Se determinó la Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva mediante la suma de BT y AI. Se calculó el porcentaje de saturación en bases como el cociente entre las BT y la CIC efectiva, expresándolo en porcentaje.

Las sub-muestras de mantillo también fueron pesadas previo a su secado, de manera de determinar su peso húmedo, y luego del secado para determinar su peso seco por diferencia. El proceso de secado se realizó a 65° C hasta peso constante.

Una vez secas se determinó el contenido de bases por espectrofotometría de absorción atómica (Ca y Mg) y emisión (K).

3.3 ÁREA DE ESTUDIO

El suelo dominante del sitio corresponde a un Luvisol Ocríco aunque en uno de los tres puntos de muestreo para la descripción del mismo fue clasificado como Argisol Dístico Ocríco (punto 25 de manejo bajo monte) por no cumplir con los requisitos de contenido de Al intercambiable para ser Luvisol. Estos suelos pertenecen a la Unidad Tres Bocas según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (URUGUAY. MAP. DSF, 1979), y al Grupo CONEAT 09.3. La descripción de los perfiles muestreados y datos analíticos correspondientes se presentan en los cuadros 1 al 3, y en las Figuras 4 y 5.

Cuadro 1. Descripción de dos perfiles de suelo bajo monte del sitio experimental Tres Bocas.

Perfil 1. Luvisol Ócríco			
Hor.	Prof. (cm)	Text.	Color
Ap	0 – 20	F _{Ar} -Ar _F	7,5 YR 4/2

A	20 – 35	FAr-ArF	7,5 YR 3/2	
BA	35 – 44	FACAr	7,5 YR 2.5/2	
Bt1	44 – 60	Ac	7,5 YR 5/2	Moteados 10R 4/8, 30%, borde neto, 5mm
Bt2	60 – 75	Ac	7,5 YR 5/4	Moteados 10R 4/8 y 10 YR 6/8, 50%, borde difuso
BC	75+	F	7,5 YR 5/4	Moteados 10R 4/8, 80%, borde neto, concreciones de Fe y Mn, abundantes y friables

Perfil 25. Argisol Dístrico Ócrico.

Horiz.	Prof. (cm)	Text.	Color	
Ap	0-25	FAr	10YR 6/4 y 10 YR 3/4	
A	25-42	FAr	10YR 3/3	
E	42-60	FAr	10YR 6/3	
Bt1	60-92	Ac	2,5 YR 4/2	Vetas 10YR 3/1 y moteados 7,5 YR 6/8, netos, de 5mm, 2,5 YR 5/8 hacia el centro

Bt2	92+	Ac	10 YR 4/4
------------	-----	----	-----------



Figura 4- Perfil de suelo bajo monte

Cuadro 2. Descripción de dos perfiles de suelo bajo campo del sitio experimental Tres Bocas.

Perfil 1. Luvisol Ócrico

Horiz.	Prof. (cm)	Text.	Color	
A	0 - 43	FAr	10 YR 4/3	
E	43 - 68	Ar	10 YR 5/5	
Bt1	68 - 88	Ac	10 YR 3/1	Moteados 10 R 3/6, abundantes, borde difuso, 2mm
Bt2	88 - 100	Ac	10 YR 3/1	Moteados 10 YR 6/6 y 10 YR 4/8, 30%, borde difuso, 1 cm.
BC	100+	AcAr	7,5 YR 5/4	Moteados 10 R 4/8, 80 %, borde neto

Perfil 25. Luvisol Ócrico.

Horiz.	Prof. (cm)	Text.	Color
--------	------------	-------	-------

A	0 – 47	FAr	10 YR 4/3
E	47 -75	ArF	10 YR 5/4
Bt1	75+	Ac	7,5 YR 5/4



Figura 5- Perfil de suelo bajo campo.

Cuadro 3. Datos analíticos de los perfiles de suelo bajo monte del sitio experimental Tres Bocas.

Monte Punto 1											
Horiz.	pH		C g kg ⁻¹	Ca	Mg	K	Na	A.I.	BT	CIC	SB %
	H ₂ O	KCl									
Ap	5,58	4,83	10,2	3,14	0,54	0,23	0,50	0,03	4,41	4,44	99,37
A	5,22	4,11	5,2	2,51	0,66	0,21	0,38	0,39	3,76	4,15	90,69
BA	5,16	3,95	6,9	4,63	1,36	0,35	0,36	1,39	6,70	8,09	82,77
Bt1	5,38	4,00	9,0	11,4	3,30	0,73	0,41	1,25	15,84	17,09	92,71
Bt2	5,48	4,16	2,1	8,19	2,42	0,41	0,36	0,94	11,38	12,32	92,34

Nota: A.I.: acidez intercambiable; BT: Bases Totales; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico; SB: porcentaje de saturación en bases.

Monte Punto 25											
Horiz.	pH		C g kg ⁻¹	Ca	Mg	K	Na	A.I.	BT	CIC	SB %
	H ₂ O	KCl									
Ap	4,78	3,76	5,64	0,41	0,41	0,19	0,31	1,46	1,32	3,77	47,48
A	4,84	3,74	3,87	1,00	0,43	0,15	0,31	1,22	1,89	3,11	60,77
E	5,24	3,97	1,77	1,34	0,40	0,19	0,33	0,33	2,26	2,59	87,26

Bt1	6,03	4,38	3,22	9,69	3,39	0,47	0,76	0,47	14,31	14,78	96,82
Bt2	6,69	4,76	1,61	10,48	3,67	0,53	0,83	0,16	15,51	15,57	98,98

Nota: A.I.: acidez intercambiable; BT: Bases Totales; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico; SB: porcentaje de saturación en bases.

Cuadro 4. Datos analíticos del perfil de suelo bajo campo del sitio experimental Tres Bocas.

Campo Punto 1												
Horiz.	pH		C g kg ⁻¹	Ca	Mg	K	Na	A.I.		BT	CIC	SB
	H ₂ O	KCl						cmol _c kg ⁻¹				
A	5,27	4,15	3,06	0,85	0,32	0,14	0,30	0,19	1,61	1,80	89,48	
E	5,31	4,04	0,48	0,98	0,26	0,12	0,34	0,33	1,70	2,03	83,93	
Bt1	5,31	3,75	4,51	8,23	3,36	0,50	0,36	1,70	12,45	14,15	88,02	
Bt2	5,35	3,75	2,26	7,10	3,03	0,40	0,35	1,65	10,88	12,53	86,80	

Nota: A.I.: acidez intercambiable; BT: Bases Totales; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico; SB: porcentaje de saturación en bases.

3.4 ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD Y NÚMERO MÍNIMO DE MUESTRAS

En esta etapa se intentó estudiar la variabilidad espacial horizontal mediante la construcción de semi-variogramas, y posterior Kriging. Este último consiste en un método que usa la dependencia espacial detectada por el semi-variograma como forma de mejorar la estimación, utilizando el software ArcGis. Esto se realizó con el objetivo de corroborar la no existencia de una variación horizontal en determinado sentido en áreas de poca extensión.

La variación en profundidad para las diferentes propiedades se estudió mediante la construcción de gráficas comparativas.

Asimismo, se realizó el análisis de múltiples variables por Análisis de Componentes Principales (ACP), utilizando el Software InfoStat.

Finalmente, se determinó el número mínimo de muestras necesario para estimar el valor de cada variable para futuros estudios con objetivos similares en sitios con iguales características. Para el cálculo se utilizaron cinco niveles de precisión - 75%, 80%, 85%, 90% y 95% - y tres niveles de confianza- 85%, 90%, y 95% -. Esto permitirá,

como se mencionó anteriormente, definir criterios de muestreo para la determinación de COS, pH, acidez intercambiable, y bases intercambiables en situaciones de manejo forestal y pastoril.

Para esta etapa se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = [(t_{(\alpha/2;gle)})^2 * S^2]/D^2$$

Siendo:

n = número mínimo de muestras

$t_{(\alpha/2)}$: valor de tabla T de Student (con 24 grados de libertad para las primeras cuatro profundidades de suelo muestreadas, o 4 grados de libertad para el horizonte transicional y el horizonte B)

S^2 = varianza de las variables

D = error permitido (0.05, 0.1, 0.15, 0.20 y 0.25%)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Se presentan a continuación los valores medios, desvío estándar y coeficiente de variación de cada variable para cada una de las profundidades estudiadas.

Cuadro 5- Parámetros químicos promedio, desviación estándar y coeficiente de variación por profundidad de muestreo.

Manejo		pH(H ₂ O)	pH(KCl)	Ac.Int	Ca	Mg	K	Na	BT	C	
							cmol _c .kg ⁻¹				
								g/kg			
M1*	m*	5.80	5.00	0.00	2.90	0.90	0.20	0.30	4.40	12.8	
	ds*	0.28	0.26	0.03	0.51	0.07	0.03	0.04	0.57	1.81	
	cv*	4.76	5.30	77.55	17.34	7.89	12.40	11.72	12.88	14.15	
C1*	m	5.70	4.80	0.10	2.00	0.80	0.30	0.40	3.40	12.0	
	ds	0.19	0.24	0.06	0.40	0.15	0.05	0.06	0.60	1.55	
	cv	3.29	5.07	78.69	20.21	18.34	18.53	15.71	17.61	12.97	
M2	m	5.20	4.00	0.60	0.80	0.70	0.20	0.30	2.10	6.60	
	ds	0.19	0.17	0.33	0.19	0.09	0.04	0.04	0.25	1.32	
	cv	3.74	4.21	57.43	22.38	13.29	14.76	12.28	12.20	19.96	
C2	m	5.50	4.60	0.10	1.20	0.50	0.20	0.40	2.30	6.30	
	ds	0.18	0.22	0.06	0.24	0.07	0.03	0.07	0.34	0.86	
	cv	3.20	4.88	84.31	20.01	13.45	16.81	19.63	14.90	13.72	
M3	m	5.00	3.80	0.90	0.60	0.50	0.30	0.30	1.80	5.90	
	ds	0.13	0.14	0.29	0.13	0.07	0.06	0.04	0.18	1.17	
	cv	2.67	3.61	30.42	20.50	13.58	22.19	10.73	10.36	19.92	
C3	m	5.50	4.50	0.10	1.10	0.40	0.20	0.40	2.10	4.70	
	ds	0.16	0.21	0.06	0.24	0.07	0.06	0.07	0.35	1.03	
	cv	2.81	4.60	67.18	21.63	16.64	29.82	18.74	16.76	21.98	
M4	m	5.00	4.50	0.90	0.90	0.50	0.20	0.40	2.00	5.50	
	ds	0.13	0.13	0.28	0.14	0.06	0.05	0.12	0.21	1.19	
	cv	2.51	2.99	31.94	15.70	12.32	21.64	29.77	10.38	21.53	
C4	m	5.50	4.05	0.10	1.20	0.40	0.20	0.40	2.10	4.10	
	ds	0.16	0.17	0.06	0.22	0.07	0.04	0.05	0.32	0.72	
	cv	2.88	3.69	67.80	18.79	18.04	20.18	13.06	15.04	17.50	
M5	m	5.20	3.90	0.50	2.90	0.90	0.20	0.40	4.40	3.90	

	ds	0.34	0.24	0.20	0.79	0.22	0.02	0.04	0.99	1.92
	cv	6.53	6.12	37.90	27.17	24.98	9.72	10.49	22.43	49.46
C5	m	5.40	4.40	0.20	1.00	0.30	0.10	0.30	1.80	1.50
	ds	0.16	0.16	0.11	0.28	0.04	0.03	0.04	0.30	0.60
	cv	2.90	3.62	50.64	27.49	10.42	18.23	11.45	16.39	40.72
M6	m	5.30	4.00	0.70	10.2	3.30	0.50	0.60	14.5	7.00
	ds	0.27	0.21	0.23	0.97	0.35	0.14	0.15	1.22	1.06
	cv	5.08	5.28	33.32	9.60	10.76	26.55	26.78	8.39	15.24
C6	m	5.40	4.50	1.00	8.80	3.60	0.70	0.40	13.5	4.70
	ds	0.13	0.61	0.72	1.02	0.76	0.08	0.05	1.78	1.52
	cv	2.48	13.61	69.22	11.55	21.24	11.05	12.25	13.17	32.70

* La letra M significa monte de eucalipto y la letra C indica campo natural. Los números indican profundidad- 1: 0-5 cm; 2: 5-10 cm; 3:10-15 cm; 4:15-20 cm; 5:Hz. Transicional y 6: Hz. Bt.

** m: media; ds: desvío estándar; cv: coeficiente de variación.

Los valores del coeficiente de variación de los diferentes parámetros presentaron valores inferiores al 25%, con la excepción de la AI, los cuales resultaron superiores. La mayor variabilidad de este parámetro viene asociada a magnitudes muy pequeñas en algunas situaciones (como en el manejo bajo campo) y a una escasa precisión del método de análisis para detectarlas.

4.2 INTERVALOS DE CONFIANZA

Se presentan los intervalos de confianza IC (95 %) para cada variable a cada profundidad utilizando el Software InfoStat mediante estimación por Bootstrap (B=500) dado que se asume que no tendrían distribución Normal.

Los Cuadros 6 a 12 muestran los valores de medias, error estándar y los intervalos de confianza para las variables Carbono orgánico, pH (H₂O), pH (KCl), Ca, K, Mg y bases totales.

Si bien los IC fueron calculados con el error de muestreo, como se expuso en el ítem 3., la magnitud de la estimación de la media poblacional con su IC da una idea de las variaciones a pequeña escala obtenidas en este estudio.

Cuadro 6- Intervalos de confianza, medias y error estándar para el contenido de Carbono orgánico del suelo para todas las profundidades.

Prof. Monte	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	12,83	0,34	25	12,15	13,45
2	6,61	0,26	25	6,10	7,10
3	5,88	0,22	25	5,44	6,33
4	5,51	0,22	25	5,09	5,95
5	3,85	0,79	5	2,34	5,28
6	6,97	0,42	5	6,24	7,82

Prof. Campo	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	11,95	0,3	25	11,31	12,52
2	6,28	0,17	25	5,93	6,60
3	4,67	0,19	25	4,30	5,06
4	4,1	0,14	25	3,82	4,36
5	1,48	0,24	5	0,94	1,88
6	4,63	0,61	5	3,57	5,96

Cuadro 7- Intervalos de confianza, medias y error estándar para acidez del suelo para todas las profundidades, medido en H₂O y KCl.

Prof. Monte	Estimación Media pH H₂O	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	5,81	0,05	25	5,71	5,92
2	5,15	0,04	25	5,07	5,22
3	5,00	0,02	25	4,95	5,05
4	5,03	0,02	25	4,98	5,08
5	5,19	0,13	5	4,93	5,44
6	5,27	0,11	5	5,04	5,44

Prof. Campo	Estimación Media pH H₂O	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	5,68	0,04	25	5,60	5,75
2	5,53	0,03	25	5,46	5,59
3	5,54	0,03	25	5,48	5,60

4	5,55	0,03	25	5,49	5,61
5	5,44	0,06	5	5,30	5,56
6	5,43	0,05	5	5,34	5,53

Prof. Monte	Estimación Media pH KCl	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	4,97	0,05	25	4,87	5,06
2	3,98	0,03	25	3,92	4,04
3	3,81	0,03	25	3,76	3,87
4	3,81	0,03	25	3,76	3,86
5	3,91	0,1	5	3,76	4,11
6	4,03	0,08	5	3,86	4,18

Prof. Campo	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	4,82	0,05	25	4,71	4,91
2	4,58	0,04	25	4,50	4,67
3	4,52	0,04	25	4,45	4,61
4	4,50	0,03	25	4,44	4,57
5	4,35	0,06	5	4,23	4,47
6	4,46	0,24	5	4,10	4,99

Cuadro 8- Intervalos de confianza, medias y error estándar para la acidez intercambiable del suelo para todas las profundidades.

Prof. Monte	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	0,04	0,01	25	0,03	0,06
2	0,57	0,06	25	0,45	0,70
3	0,95	0,06	25	0,84	1,05
4	0,87	0,05	25	0,77	0,97
5	0,52	0,08	5	0,35	0,66
6	0,70	0,10	5	0,51	0,89

Prof. Campo	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	0,07	0,01	25	0,05	0,10
2	0,08	0,01	25	0,05	0,10
3	0,09	0,01	25	0,07	0,11
4	0,09	0,01	25	0,07	0,12
5	0,22	0,04	5	0,13	0,30
6	1,04	0,29	5	0,48	1,65

Cuadro 9- Intervalos de confianza, medias y error estándar para el contenido de Potasio intercambiable del suelo para todas las profundidades.

Prof. Monte	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	0,23	0,01	25	0,22	0,24
2	0,24	0,01	25	0,23	0,25
3	0,27	0,01	25	0,25	0,29
4	0,23	0,01	25	0,21	0,25
5	0,23	0,01	5	0,21	0,25
6	0,52	0,05	5	0,40	0,62

Prof. Campo	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	0,25	0,01	25	0,23	0,27
2	0,20	0,01	25	0,18	0,22
3	0,19	0,01	25	0,18	0,20
4	0,20	0,01	25	0,18	0,21
5	0,14	0,01	5	0,12	0,16
6	0,68	0,03	5	0,63	0,74

Cuadro 10- Intervalos de confianza, medias y error estándar para el contenido de Calcio intercambiable del suelo para todas las profundidades.

Prof. Monte	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	2,93	0,01	25	2,71	3,11
2	0,84	0,04	25	0,76	0,91
3	0,62	0,03	25	0,58	0,67
4	0,9	0,03	25	0,84	0,94

5	2,9	0,32	5	2,21	3,47
6	10,15	0,39	5	9,38	10,95

Prof. Campo	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	1,97	0,08	25	1,80	2,13
2	1,20	0,05	25	1,11	1,29
3	1,10	0,05	25	1,01	1,19
4	1,16	0,04	25	1,08	1,25
5	1,01	0,11	5	0,80	1,23
6	8,82	0,40	5	7,93	9,54

Cuadro 11- Intervalos de confianza, medias y error estándar para el contenido de Magnesio intercambiable del suelo para todas las profundidades.

Prof. Monte	Estimación Media	E.E	N	LI (95%)	LS (95%)
1	0,93	0,01	25	0,90	0,96
2	0,66	0,02	25	0,62	0,69
3	0,51	0,01	25	0,48	0,54
4	0,50	0,01	25	0,47	0,53
5	0,86	0,08	5	0,67	1,00
6	3,29	0,15	5	3,01	3,56

Prof. Campo	Estimación Media	E.E	N	LI (95%)	LS (95%)
1	0,81	0,03	25	0,75	0,87
2	0,49	0,01	25	0,46	0,52
3	0,42	0,01	25	0,39	0,44
4	0,40	0,01	25	0,37	0,43
5	0,34	0,01	5	0,32	0,37
6	3,60	0,31	5	2,85	4,11

Cuadro 12- Intervalos de confianza, medias y error estándar para el contenido de Bases Totales intercambiables del suelo para todas las profundidades.

Prof. Monte	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	4,42	0,11	25	4,20	4,62

2	2,07	0,05	25	1,97	2,16
3	1,75	0,04	25	1,69	1,82
4	2,03	0,04	25	1,95	2,11
5	4,37	0,39	5	3,53	5,05
6	14,54	0,48	5	13,54	15,42

Prof. Campo	Estimación Media	E.E	n	LI (95%)	LS (95%)
1	3,39	0,11	25	3,17	3,61
2	2,26	0,07	25	2,13	2,39
3	2,07	0,07	25	1,93	2,19
4	2,11	0,06	25	1,99	2,24
5	1,84	0,12	5	1,62	2,10
6	13,47	0,75	5	11,77	14,75

4.3 VARIACIÓN EN PROFUNDIDAD

Se estudió la variación horizontal y vertical (en profundidad) de cada una de las variables analizadas.

Un primer comentario que surge de la descripción de los suelos en los puntos de muestreo y las gráficas correspondientes a las dos situaciones de manejo es que existen diferencias entre los perfiles de suelo bajo monte y bajo campo en cuanto a la profundidad a la cual aparece el horizonte Bt de los suelos, siendo el perfil del suelo bajo monte de menor profundidad que el correspondiente al campo natural. Estas variaciones locales ocurren no sólo dentro de las mismas unidades de suelo, sino también muchas veces a alturas topográficas similares, como en el caso de estudio, asociadas a una mayor o menor cercanía del material que le dio origen al suelo.

Otro aspecto a tener en cuenta es que al no contar con repeticiones en el campo, sino con réplicas del muestreo, el desvío estándar de las muestras es el error de muestreo y no el error experimental. Por tal motivo, el alcance del análisis es descriptivo.

Finalmente, cabe destacar que los resultados estarán condicionados al hecho de que, por no existir estudios previos de esta índole, no se sabe con certeza si el número de 25 réplicas de muestreo es suficiente. Es importante destacar estos aspectos para la correcta interpretación de los resultados a continuación, donde se discuten las tendencias observadas en los resultados obtenidos para ambas situaciones de manejo.

4.3.1 Variación en profundidad del carbono orgánico

En la Figura 6 se muestra la distribución en profundidad del COS bajo uso pastoril y forestal.

Teniendo en cuenta la interpretación de los intervalos de confianza obtenidos (Cuadro 6), se observa que en los 10 primeros cm del perfil aproximadamente, el contenido de COS entre ambos manejos no difiere estadísticamente en forma importante. A medida que se avanza en profundidad, las diferencias se acentúan, siendo mayores los valores de COS encontrados bajo monte hasta la última profundidad estudiada (60-70 cm). Trabajos realizados en el país indican que durante los primeros años posteriores a la plantación ocurre una disminución del contenido de C orgánico en superficie a causa del laboreo (Martino et al. 1997, Phillip et al. 2000, García Préchac et al. 2001, Pérez Bidegain 2001, Delgado et al. 2006, Durán et al. 2007). En el presente trabajo no fue constatada una disminución en el COS, sino por el contrario no surgen diferencias entre ambos manejos en los primeros 20 cm. En la medida de no haberse realizado laboreo pre-plantación en las entrefilas, el cambio en el tipo de vegetación no determinó cambios significativos en dicha profundidad. Posiblemente el depósito de restos vegetales (mantillo), podría haber contribuido al aporte de carbono,.. Sin embargo aun no se observaron diferencias significativas en dicho aporte en superficie, aunque, se observó un aumento del carbono orgánico en profundidad en el suelo bajo vegetación de bosque, lo que podría estar explicado por la posible migración de compuestos orgánicos provenientes de estratos superiores del perfil, entre ellos el horizonte O del suelo.

Desde la superficie del suelo, disminuye el contenido de COS en ambos manejos hasta que estos aumentan entre 40 y 80 cm, en correspondencia con la presencia del horizonte Bt. En el caso del campo natural, este aumento ocurre a partir de los 53 cm aproximadamente, por la aparición a mayor profundidad del horizonte Bt en comparación con el suelo bajo monte.

Se estimó el contenido de C total presente en el mantillo a través del dato obtenido por Hernández et al. (2009) de C total del 45 %, y la estimación de la biomasa por hectárea en el área de estudio, el cual corresponde a 12,4 Mg ha⁻¹.

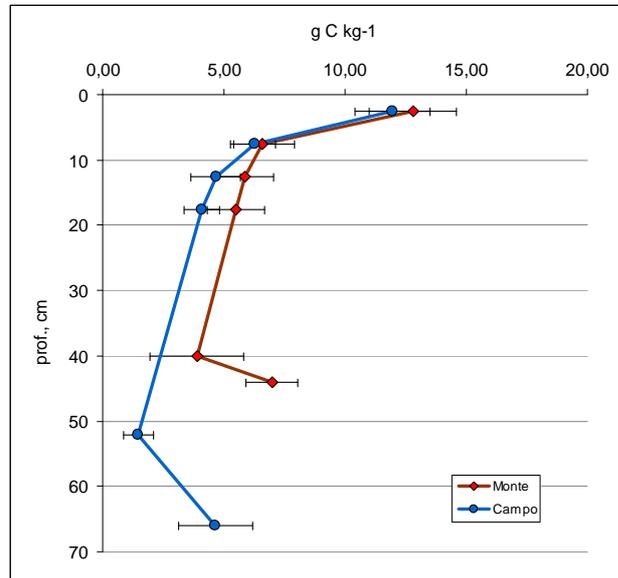


Figura 6- Distribución del C orgánico del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.

4.3.2 Variación en profundidad de la acidez

4.3.2.1 Variación en profundidad del pH

Respecto a los valores de pH medido en agua, se puede observar la tendencia de que en los primeros 5 cm del perfil no habría diferencias entre ambos manejos de campo y monte (Figura 7). Sin embargo, por debajo de los 5 cm de profundidad, los valores resultaron menores en el suelo bajo monte. Este comportamiento estaría en coincidencia con lo indicado por Durán et al. (2007), Hernández (2010) quienes constataron que el descenso del pH es observable en suelos bajo forestación en comparación con suelos bajo la vegetación natural de pasturas naturales.

Para el suelo manejado bajo pastura natural (Campo), se observa que los valores de pH permanecen más constantes a lo largo de todo el perfil analizado. Se constata únicamente, una leve disminución hasta los 5 cm que no se asemeja en magnitud a la que ocurre bajo monte.

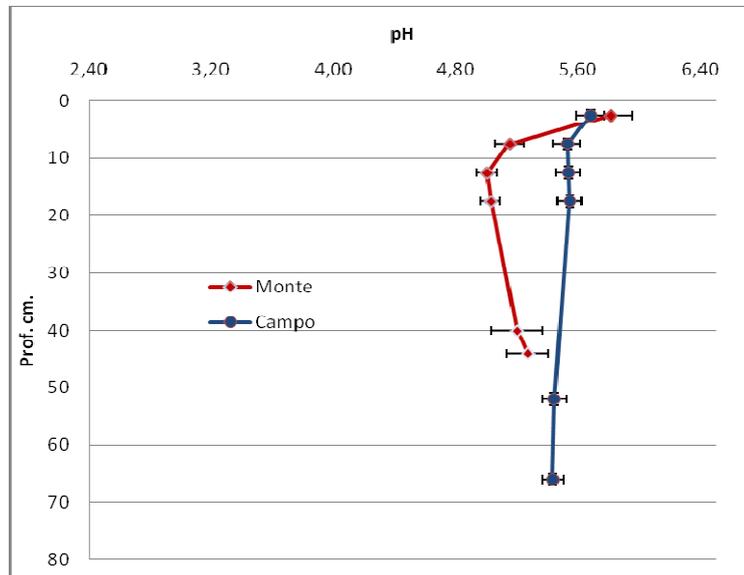


Figura 7- Distribución del pH (H₂O) del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.

En el caso de los valores de pH medidos en KCl, se puede observar que se mantiene la tendencia del gráfico anterior. Por lo tanto, para ambos análisis no habría diferencias entre manejos para los primeros 5 cm, teniendo en cuenta los intervalos de confianza. Igualmente se destaca una disminución en profundidad mucho más acentuada para el manejo bajo monte en ambas mediciones de pH.

Para el suelo manejado bajo pastura natural (Campo), se observa que los valores de pH medidos en KCl muestran una tendencia similar a las medidas en agua, permaneciendo más constantes a partir de los 5 cm y a lo largo de todo el perfil analizado.

Estos resultados coinciden con lo observado por Cabrera y Cal (2007) en un trabajo donde se constató que en un suelo de Rivera, bajo monte (de 15 años de edad) el pH medido en KCl disminuía entre 0.3 y 0.2 unidades promedio en los horizontes A y B respectivamente.

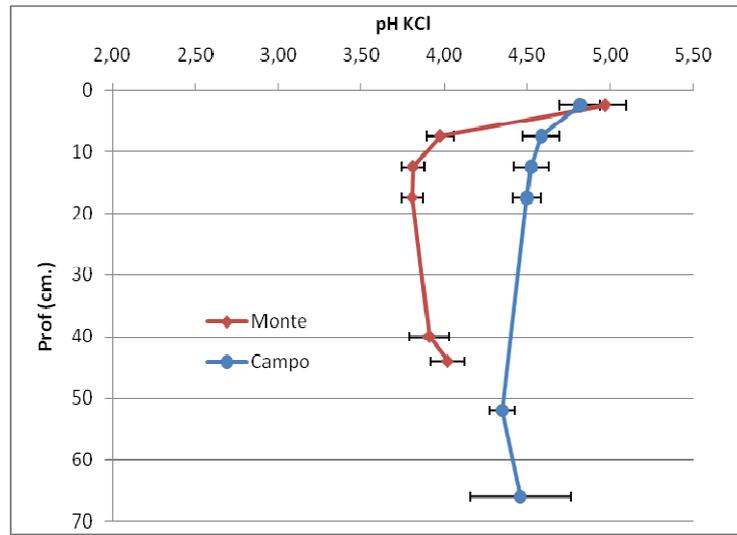


Figura 8- Distribución del pH (KCl) del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.

4.3.2.2 Variación en profundidad de la acidez intercambiable

A partir de los intervalos de confianza (Cuadro 8), se puede concluir que las tendencias de ambos manejos no son similares como en las variables vistas anteriormente. Por lo contrario, bajo monte se observa un aumento de la acidez intercambiable en el horizonte A hasta una profundidad de 15 cm, disminuyendo posteriormente en profundidad para finalmente volver a aumentar en el horizonte Bt (Figura 9). Bajo campo natural, la tendencia de los valores es la siguiente: se mantienen hasta los 20 cm inclusive, y posteriormente aumentan hasta la última profundidad analizada. Cabe destacar el hecho de que no hay diferencias en la capa de 0 a 5 cm entre ambos manejos.

El patrón de variabilidad observado para este parámetro en el suelo bajo monte fue superior al manejo pastoril. Esto se podría explicar por dos razones: una puede surgir de la variabilidad del mismo en el suelo, y la otra es la variabilidad en las determinaciones analíticas, dado que el método de análisis empleado tiene una fuente de error importante en la titulación ácido-base. Estadísticamente no se observan diferencias entre los valores de acidez intercambiable de 0 a 5 cm, los cuales son menores a $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Estas diferencias desde el punto de vista agronómico son de escasa importancia.

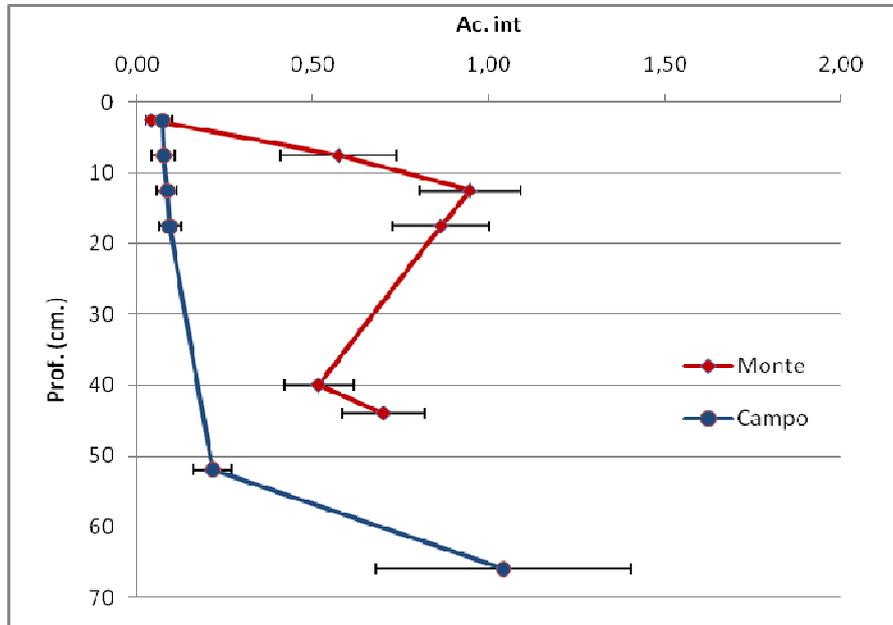


Figura 9- Distribución del Acidez intercambiable del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.

4.3.2.3 Relación pH medido en H₂O – acidez intercambiable.

En la Figura 10 se muestra la relación entre los valores de pH medidos en agua y la Acidez intercambiable de los horizontes superficiales (hasta los 20 cm) para el suelo bajo monte y bajo campo. Se eliminaron los horizontes transicionales y el horizonte Bt dado que en estos la variación resultó muy elevada por tratarse de perfiles en los cuales el horizonte E no era horizontalmente continuo, así como su transición al horizonte Bt. Los datos que forman parte de la misma corresponden a los valores medios de cada variable. En esta se observa que a medida que disminuye el valor del pH aumenta la acidez intercambiable, con un ajuste logarítmico del 96%.

Estos resultados coinciden con lo observado por Hernández (2010), en plantaciones tanto bajo montes de pino como de eucalipto, donde se verificó una marcada tendencia de descenso del pH y un aumento de la acidez intercambiable, tanto en rotaciones largas, como en turnos de plantación cortos.

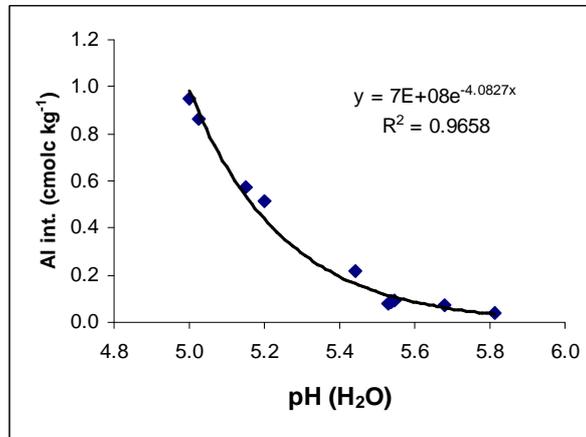


Figura 10- Relación de las variables pH (H₂O)- acidez intercambiable para ambos manejos.

4.3.3 Variación en profundidad de las bases intercambiables

4.3.3.1 Variación en profundidad de las bases totales intercambiables

En la Figura 11 se observa la distribución en profundidad del contenido total de bases intercambiables para ambos manejos.

En la capa superficial, se constata un contenido mayor de bases totales bajo el monte, disminuyendo en éste hasta los 10-15 cm. Posteriormente, en la superficie del horizonte Bt, los contenidos de bases totales aumentan de forma importante, siendo similar la tendencia en ambos manejos (Cuadro 12).

El mayor contenido de bases totales bajo el monte respecto al campo en los primeros cm de suelo podría estar explicado por el aporte de bases provenientes de la descomposición del mantillo. Luego ocurre una disminución en las siguientes profundidades del horizonte A, explicadas posiblemente por una mayor extracción debido a mayores densidades radiculares. Esto coincide con el aumento en la acidez intercambiable constatada en estos estratos, y discutida en el ítem anterior.

Asimismo, el proceso de percolación de estas bases a lo largo del perfil estaría explicando la acumulación observada en el horizonte Bt, asociada al aumento del contenido de arcilla que ocurre en este horizonte.

Es importante mencionar que existe un reciclaje de bases desde estratos inferiores hacia los superiores, por el cual las raíces de los árboles las estarían extrayendo desde estratos inferiores, y a través de la caída de restos vegetales, estas mismas se estarían depositando bajo forma de mantillo en la superficie del suelo. Por lo que se podría decir que existe una devolución de cationes en estratos diferentes de donde fueron extraídos.

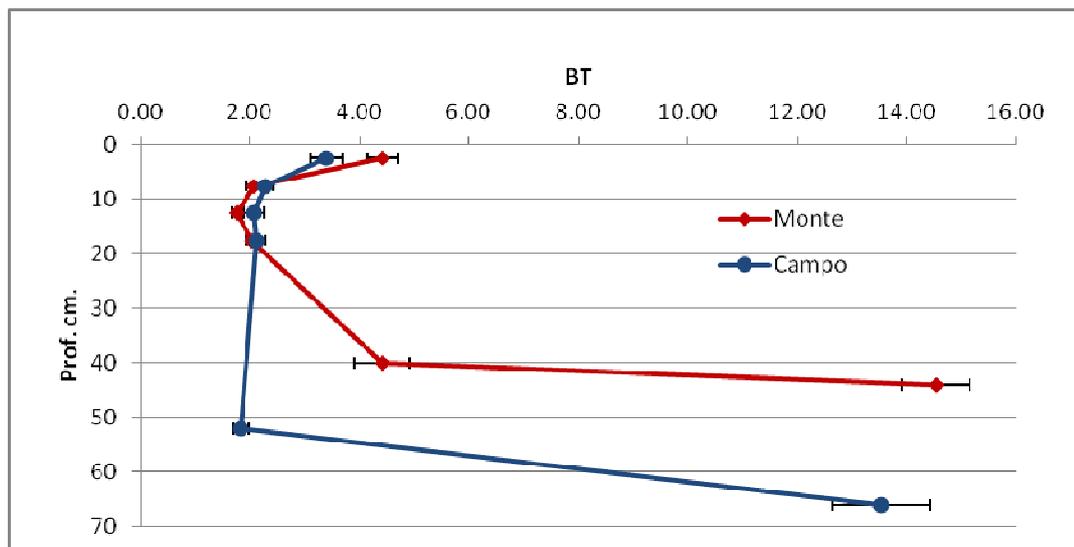


Figura 11- Distribución de las Bases Totales intercambiables del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.

4.3.3.2 Variación en profundidad del Calcio intercambiable.

En cuanto a la distribución de Ca^{2+} intercambiable, desde la superficie se observan diferencias entre ambos manejos, siendo del orden de $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ mayor bajo monte (Figura 12). A partir de allí comienza a disminuir el contenido de Ca^{2+} intercambiable, hasta aproximadamente los 12 cm, punto a partir del cual se revierte la tendencia, y comienza a aumentar gradualmente hasta los 40 cm de profundidad. Entre 40 y 44 cm la tendencia de aumento continua de manera más acentuada.

Es importante destacar, como menciona Fageria (2009), que en el caso de manejo bajo monte, se observan bajos contenidos de aluminio intercambiable en superficie, lo cual estaría dado por la descomposición del mantillo forestal y su consecuente liberación de bases intercambiables, como el Ca^{2+} que es mas fuertemente retenido por el complejo

de intercambio cationico, lo cual explica la lixiviación de los cationes de aluminio, que se acumulan en profundidad al llegar al horizonte B.

En el caso del suelo bajo campo natural, se parte de un contenido inicial menor, ocurriendo en los primeros cm una leve disminución. Posteriormente, a diferencia de lo que ocurre en el suelo bajo monte, entre aproximadamente los 7 y 52 cm de profundidad, el contenido de Ca^{2+} intercambiable se mantiene constante. Sin embargo, en el último tramo del gráfico, la tendencia es similar en ambos manejos, pero en éste último se da a una profundidad mayor (entre los 52 y 66 cm) dado que el horizonte Bt comienza a una mayor profundidad (Cuadro 10).

Cabe recordar que el mayor contenido de Ca^{2+} intercambiable en el primer estrato de suelo muestreado bajo monte podría estar explicado por la descomposición del mantillo en superficie. Dado que este catión representa la mayor proporción de las bases totales, es lógico que se observe la misma tendencia de distribución a lo largo del perfil. Es importante destacar el aporte de Ca que realiza el mantillo vía descomposición, habiéndose determinado al momento del muestreo aun una concentración de dicho nutriente de $20,6 \text{ g kg}^{-1}$. Este dato es comparable con el de $19,3 \text{ g kg}^{-1}$ obtenido por Hernández et al. (2009).

Dado el rol que tiene el Ca^{2+} en los tejidos vegetales, formando parte de las paredes celulares, es el catión intercambiable liberado a la solución del suelo en forma más lenta, debiendo ocurrir una descomposición de los restos para que éste se incorpore al suelo (Sánchez, 2011).

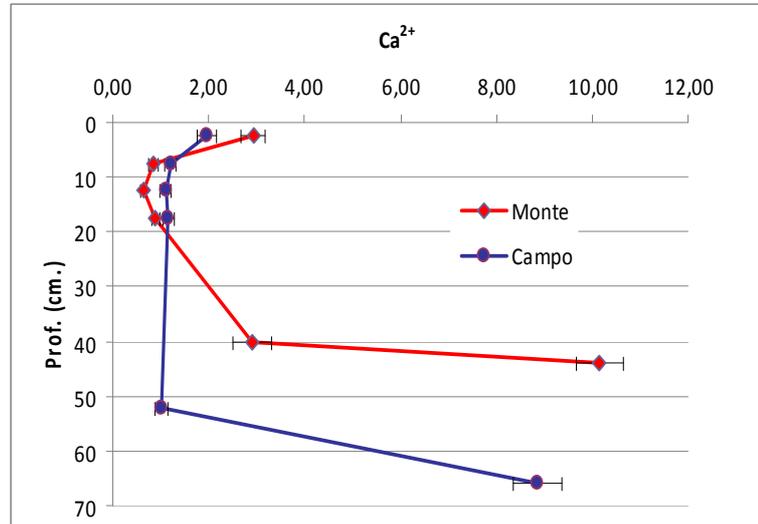


Figura 12- Distribución del Ca^{2+} intercambiable del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.

4.3.3.3 Variación en profundidad del Magnesio intercambiable

La Figura 13 muestra la distribución en profundidad del contenido de Mg^{2+} intercambiable para ambos manejos, la que, como se puede ver, mantiene una tendencia similar a los cationes estudiados anteriormente.

En el suelo bajo monte se constatan valores algo mayores en todo el perfil, acentuándose las diferencias a partir de los 17 cm aproximadamente. En la superficie del horizonte Bt –a los 40 y 52 cm según el manejo- ocurre un importante aumento del contenido de Mg^{2+} intercambiable (Cuadro 11).

El contenido promedio de Mg^{2+} aún presente en el mantillo forestal es de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$. Aproximadamente $1/5$ del total de Mg^{2+} en tejidos vegetales se encuentra como componente principal de la molécula de clorofila, asimismo se encuentra como ión formando puentes entre moléculas de ATP y diferentes enzimas (Brady y Weil, 2008). Esto causa que este catión se encuentre en una posición intermedia entre Ca^{2+} K^+ en cuanto a su tasa de liberación desde las células a la solución del suelo (Sánchez, 2011).

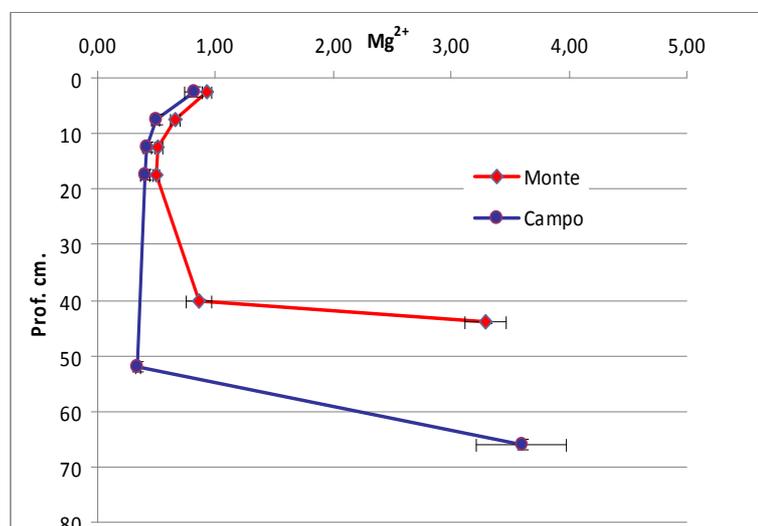


Figura 13- Distribución del Mg²⁺ intercambiable del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.

4.3.3.4 Variación en profundidad del Potasio intercambiable

En la Figura 14 se observa la distribución en profundidad de K⁺ intercambiable. Se puede ver que hasta los 5 cm de profundidad aproximadamente, no existen diferencias entre ambos manejos. Esto ocurre debido a que este ion es menos fuertemente retenido por los coloides en comparación con Al³⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺. A partir de allí el contenido de K⁺ intercambiable bajo el monte comienza a ser superior, manteniéndose constantes los valores hasta los 40 cm, aumentando posteriormente de forma importante hasta los 44 cm, explicado por la presencia del horizonte Bt.

En el suelo bajo pastura natural, se observa una disminución del contenido de K⁺ intercambiable desde la superficie hasta los 52 cm, en donde ocurre, al igual que en el monte un aumento –aunque de mayor magnitud- hasta los 66 cm, explicado por la presencia del horizonte Bt.

A diferencia de lo mencionado anteriormente para Ca²⁺ y Mg²⁺, el K⁺ es liberado a la solución del suelo más rápidamente, dado que se encuentra en forma iónica, cumpliendo funciones osmóticas, sin formar parte de las estructuras orgánicas de las plantas (Sánchez, 2011).

Cabe aclarar que al momento del muestreo el mantillo forestal contenía 0,5 g kg⁻¹ de K⁺.

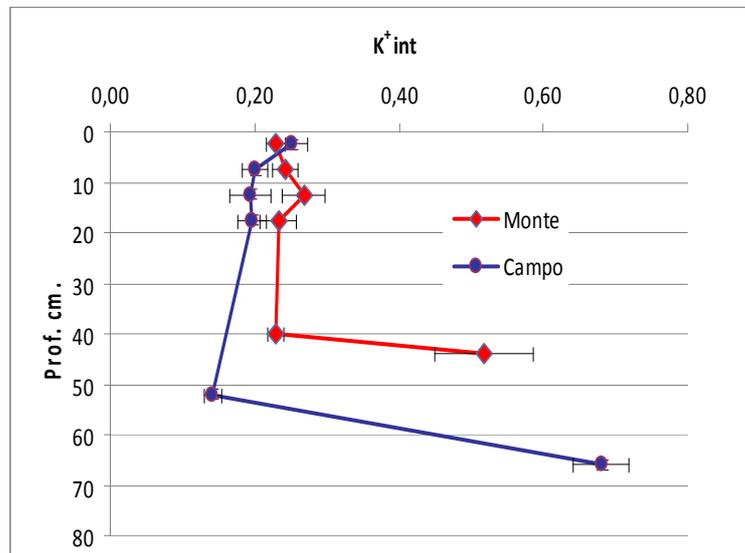


Figura 14- Distribución del K^+ intercambiable del suelo en profundidad, bajo vegetación de campo y monte.

4.4 DESCRIPCIÓN GEO-ESTADÍSTICA

En esta etapa se intentaron ajustar semi-variogramas empíricos mediante los modelos estable, exponencial y esférico para las variables carbono orgánico, acidez intercambiable, bases totales, y pH medido en H_2O , en ambas condiciones de manejo.

Este análisis se realizó con el objetivo de comprobar si existía un patrón de variación espacial dentro de la grilla de $625 m^2$, es decir a pequeña escala. Sin embargo, si bien en todos los casos se observó una variación espacial más o menos importante, en ninguno de ellos se pudo encontrar un patrón definido. Ninguno de los modelos utilizados presentó un buen ajuste. Se presentan como ejemplo las Figuras 15 y 16 (contenido de Bases Totales de 0 a 5 cm de profundidad, para los manejos campo y monte, respectivamente), en las que se puede observar que si bien fueron realizados krigings y graficados los resultados, estos no tienen valor ya que los semi-variogramas empíricos no muestran un buen ajuste. Esto permite confirmar la ausencia de una variación definida en algún sentido, por lo tanto la variación en esta escala de trabajo se estaría dando al azar, lo que sería esperado en áreas de muestreo pequeñas, donde la variabilidad del suelo es reducida.

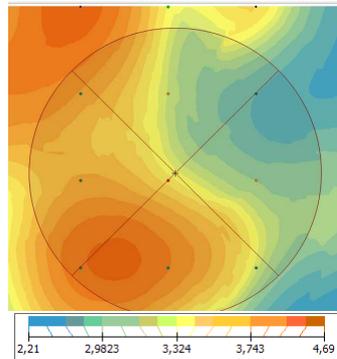


Figura 15. Kriging obtenido con el semivariograma empírico de mayor ajuste correspondiente al contenido de bases intercambiables totales en los 5 primeros cm bajo campo natural.

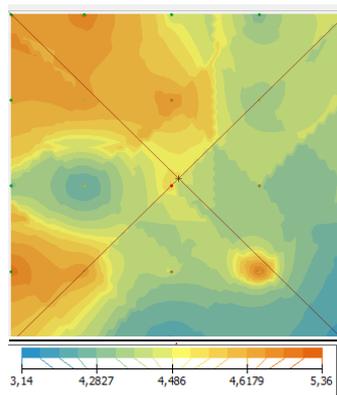


Figura 16. Kriging correspondiente al contenido de bases intercambiables totales en los 5 primeros cm bajo monte, basado en el semivariograma empírico de mayor ajuste.

4.5 ANÁLISIS MULTIVARIADO

Se presentan a continuación los gráficos de dispersión representando el análisis de todas las variables para todas las profundidades. Los puntos 1 a 25 corresponden a los puntos de muestreo bajo el monte en las cuatro profundidades estudiadas hasta los 20 cm, y los puntos 1 al 5 en los horizontes transicionales y Bt; y los puntos del 26 al 50 y 6 al 10, respectivamente a los sitios de muestreo bajo campo natural en las mismas profundidades.

Es importante destacar que en todas las profundidades estudiadas, la mayor variabilidad encontrada distingue claramente dos grupos de puntos muestreados que corresponden separadamente a campo por un lado y monte por el otro.

4.5.1 Profundidad 0-5cm

Se observa que en los primeros 5 cm del perfil bajo campo natural, la mayor variabilidad está explicada principalmente por la variable acidez intercambiable (Figura 17). En el caso del suelo bajo monte, la variabilidad observada es causada por el conjunto de las restantes variables – pH, Ca^{2+} , bases totales, Mg^{2+} , K^+ y carbono orgánico- en igual magnitud.

El porcentaje de la variabilidad explicada para el Componente Principal 1 (CP1) es de 47.8% mientras la del CP2 es del 20.4%, lo que indica que si reducimos la dimensionalidad a dos componentes, la proporción de la variabilidad total explicada en ese plano es de 68,2 %, considerando una buena descripción del fenómeno estudiado.

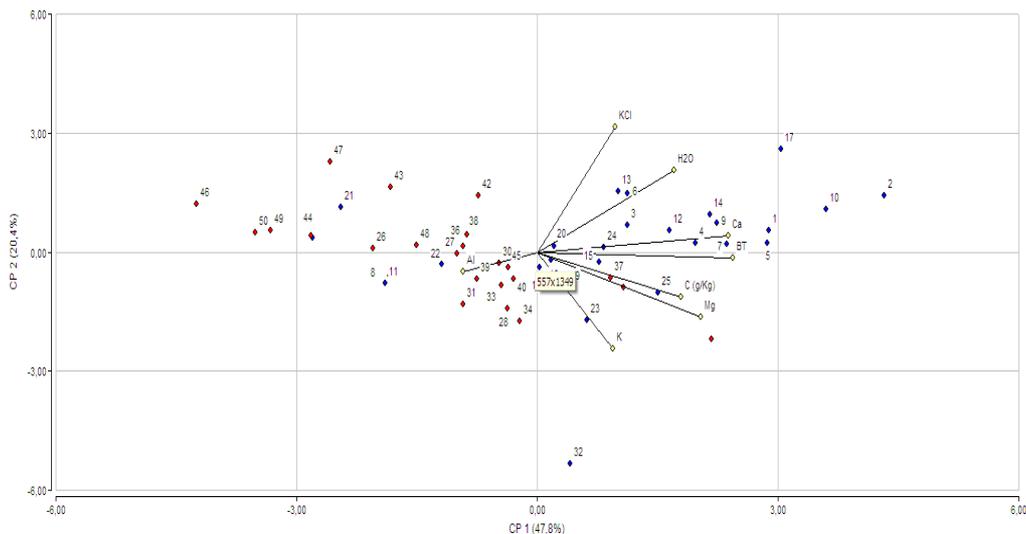


Figura 17- Análisis de Componentes Principales para la profundidad de 0 a 5 cm. Puntos rojos: campo; puntos azules: monte.

4.5.2 Profundidad 5-10 cm

Entre los 5 y 10 cm del perfil bajo el monte, a diferencia de lo que ocurre en los primeros cm, la acidez intercambiable, el contenido de Mg^{2+} , K^+ y carbono orgánico son la causa de la variabilidad observada, siendo la variable acidez intercambiable la de mayor importancia. Mientras, en el manejo bajo campo, entre los 5 y 10 cm. la

variabilidad esta explicada por los parámetros bases totales, Ca^{2+} , pH medido tanto en agua como en KCl, siendo estos últimos los que tienen más influencia sobre esta variabilidad.

El porcentaje de la variabilidad explicada por el CP1 es de 49.4 % mientras la del CP2 es del 21.3 %, lo que indica un 70,7 % de explicación de la variabilidad total por estos dos ejes, lo que se considera aceptable para una buena explicación de ésta.

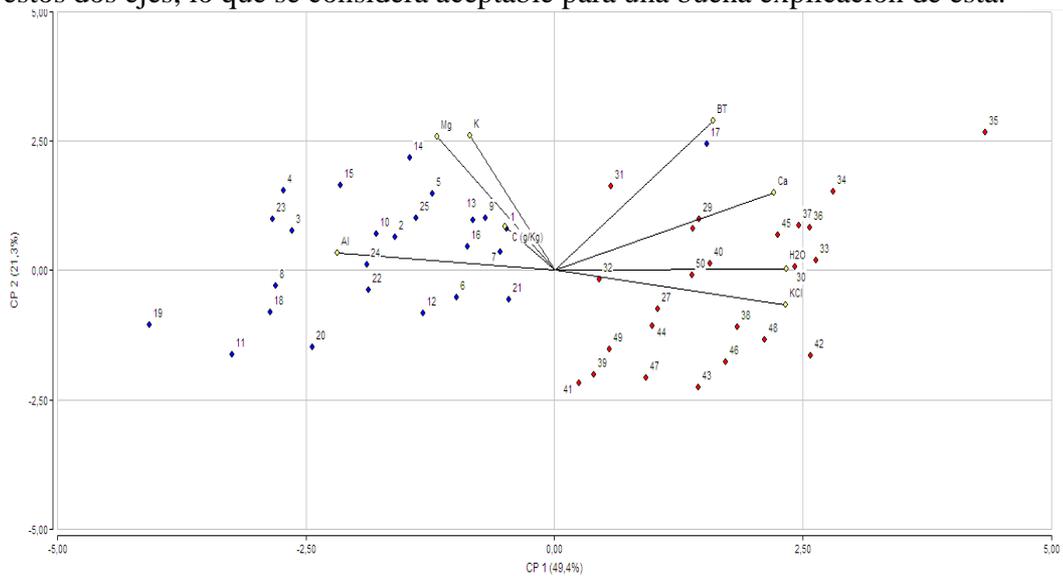


Figura 18- Análisis de Componentes Principales para la profundidad de 5 a 10 cm. Puntos rojos: campo; puntos azules: monte.

4.5.3 Profundidad 10-15 cm

En los siguientes 5 cm del perfil en ambos manejos son los mismos parámetros mencionados anteriormente, los que explican la variabilidad existente, pero toma mayor importancia el contenido de carbono orgánico sobre el K^+ , manteniéndose el orden de importancia de la acidez intercambiable y Mg^{2+} , en el suelo bajo monte. Bajo el campo natural, no se observan diferencias entre ambas profundidades en este aspecto.

El porcentaje de la variabilidad explicada por el CP1 es de 58 % mientras la del CP2 es del 21,3 %, lo que indica que estos resultados son confiables. Esto estaría indicando que un 79,3 % de la variabilidad total esta explicada por los dos ejes.

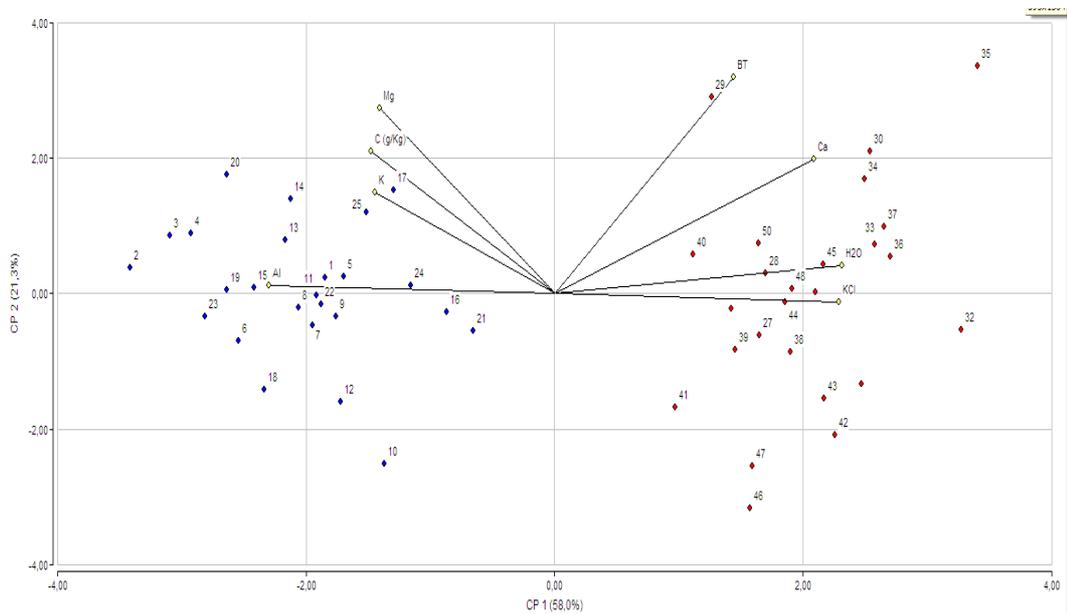


Figura 19- Análisis de Componentes Principales para la profundidad de 10 a 15 cm. Puntos rojos: campo; puntos azules: monte.

4.5.4 Profundidad 15-20 cm

Entre los 15 y 20 cm se repite lo observado entre los 5 y 10 cm en ambos manejos, aunque a diferencia del caso anterior para el manejo bajo monte cobra más importancia la variable K^+ que la variable carbono orgánico.

El porcentaje de la variabilidad explicada por el CP1 es de 50.1 % mientras la del CP2 es del 25.2 %. Ambos ejes estarían explicando el 75,3 % de la variabilidad de los parámetros a esta profundidad, lo que indica que estos resultados son confiables.

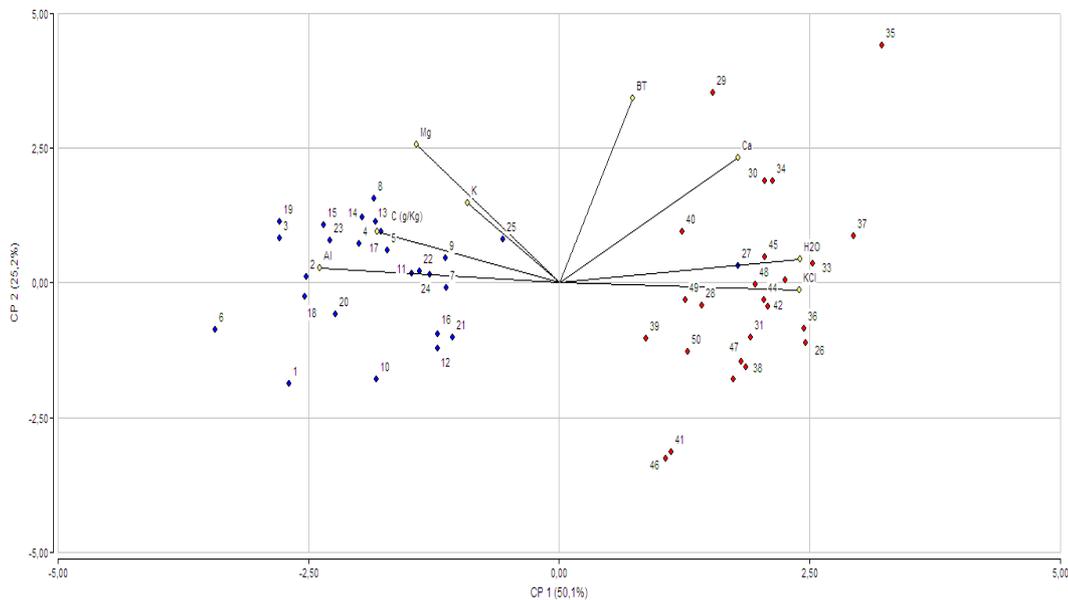


Figura 20- Análisis de Componentes Principales para la profundidad de 15 a 20 cm. Puntos rojos: campo; puntos azules: monte.

4.5.5 Horizonte transicional

Para el caso del horizonte transicional, se observa que la variabilidad existente en el campo está explicada principalmente por las variables pH tanto en H₂O como en KCl, y en el monte por las variables acidez intercambiable, carbono orgánico, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺ y bases totales.

El porcentaje de la variabilidad explicada por el CP1 es de 78,0 % mientras la del CP2 es del 9,5 %. Ambos ejes estarían explicando el 87,5 % de la variabilidad a esta profundidad, lo que indica que estos resultados son confiables.

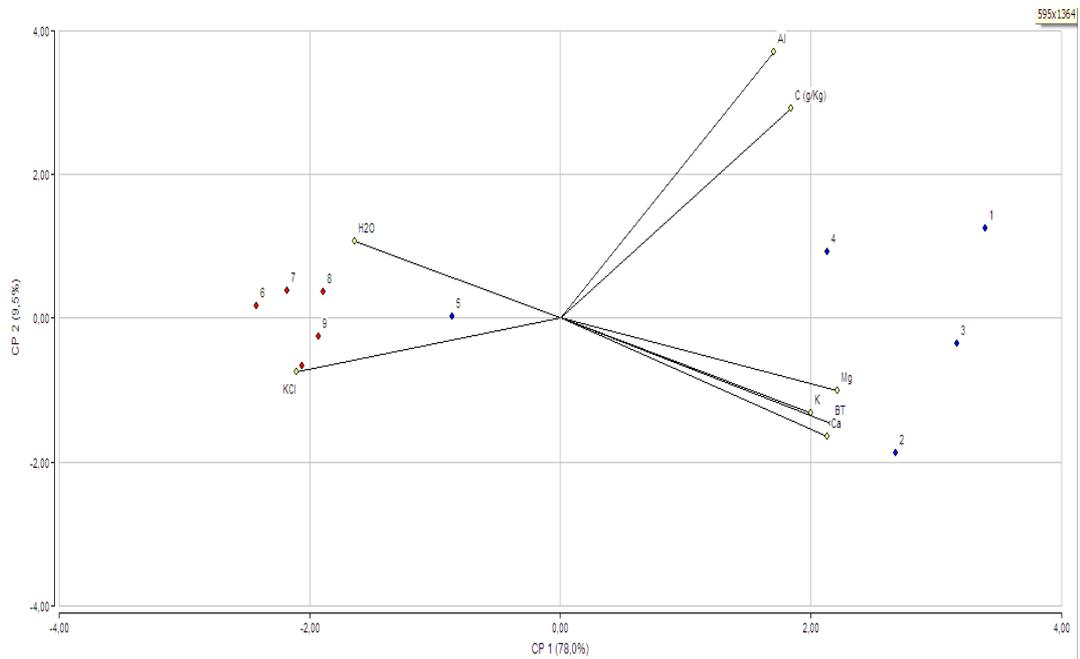


Figura 21- Análisis de Componentes Principales para la el horizonte Transicional.
Puntos rojos: campo; puntos azules: monte.

4.5.6 Horizonte Bt

En el caso del horizonte Bt, a diferencia de lo observado en todo el perfil, el CP1 no explica la variabilidad existente entre campo y monte, sino que ésta está explicada por el CP2 con un 25,6%. Este último explica solamente la mitad de la variabilidad explicada por el CP1.

El porcentaje de la variabilidad explicada por el CP1 es de 43,5 % mientras la del CP2 es del 25,6 %, lo que indica un 69,1 % de explicación de la variabilidad total por estos dos ejes, lo que se considera aceptable para una buena explicación de ésta.

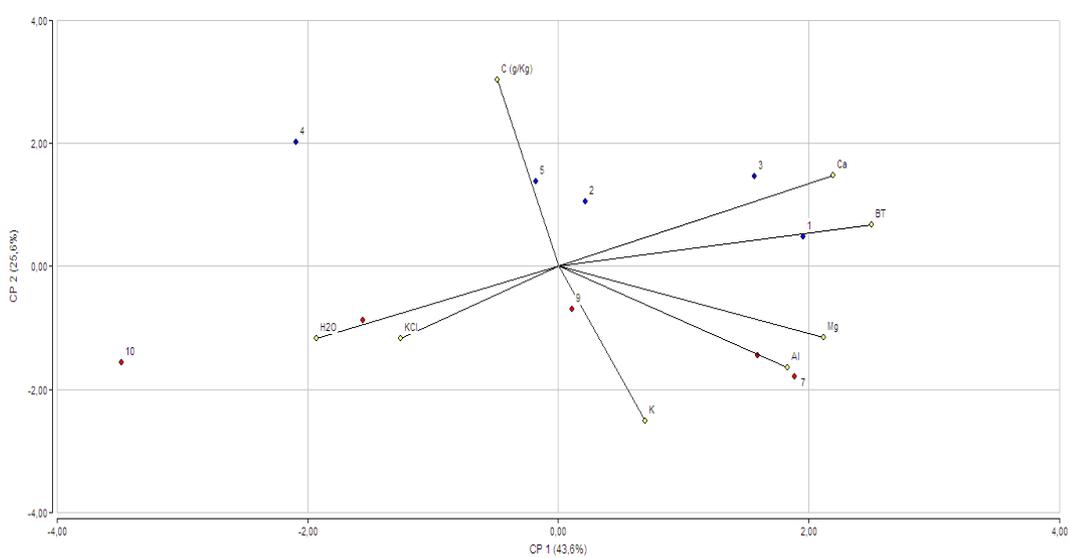


Figura 22- Análisis de Componentes Principales para el horizonte Bt. Puntos rojos: campo; puntos azules: monte.

4.6 CÁLCULO DEL TAMAÑO MÍNIMO DE MUESTRA

En los siguientes cuadros se puede observar el número mínimo de muestras necesarias para ambos manejos con cinco niveles de precisión y tres niveles de confianza, para cada uno de sus horizontes y todas las variables estudiadas. Se puede ver la relación que existe entre el número de muestras y la variabilidad de cada horizonte, dada por el coeficiente de variación. Es decir, a mayor variabilidad observada será necesario extraer un mayor número de tomas para lograr los diferentes niveles de exactitud.

Por tratarse de un área de muestreo relativamente reducida (625m^2) es de esperar que el número mínimo de muestras sea bajo, en términos generales. Cabe aclarar que estos valores fueron obtenidos a partir de un tamaño de muestras piloto, por lo tanto no existe la certeza de que se haya partido de un número de muestras suficiente, lo que estaría condicionando en parte los cálculos a continuación.

Se detallan las diferencias entre los números mínimos de muestras necesarios para los distintos grados de precisión y confianza, para los distintos parámetros.

4.6.1 Carbono orgánico

En el caso del suelo bajo monte, en casi todos sus horizontes el número de tomas necesarias es similar, excepto en los horizontes Bt y transicional, en los cuales se observa una mayor variabilidad en cuanto al contenido de materia orgánica.

En el caso del suelo bajo campo natural, la mayor variabilidad se observa en el horizonte transicional, por lo tanto de este horizonte se debería extraer el mayor número de muestras. De acuerdo con investigaciones realizadas por Kravchenko y Robertson (2011), a medida que se avanza en profundidad en el perfil sería necesario realizar un menor número de tomas para conformar una muestra compuesta, dada la menor variabilidad existente. No obstante, es preciso destacar que el horizonte transicional en este caso no siempre correspondió a un horizonte E horizontalmente continuo, constatándose la presencia en algunos puntos de un horizonte AB o BA. Esto se tradujo en valores analíticos muy diferentes para dicho estrato de muestreo, y consecuentemente su mayor variabilidad, lo que determinaría un número de tomas impracticable. Algo similar ocurrió con el horizonte Bt, dado que se muestreó su capa superficial y por lo tanto no existe la certeza de que no haya ocurrido cierta “contaminación” del horizonte inmediatamente superior. Esto condiciona el muestreo de dichos horizontes a una adecuada identificación de los mismos, por lo menos desde el punto de vista morfológico.

Estas consideraciones son válidas para las restantes variables estudiadas.

Cuadro 13- Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de Carbono orgánico según el nivel de precisión requerido.

Prof.	%Conf.	Manejo	Nivel de Precisión				
			75%	80%	85%	90%	95%
1	95%	M	1	2	3	6	24
	90%		1	1	2	4	14
	85%		1	1	1	3	9
	95%	C	1	2	3	5	20
	90%		1	1	2	3	12
	85%		1	1	1	2	8
2	95%	M	2	3	6	12	47
	90%		2	2	4	7	28
	85%	C	1	2	2	5	18
	95%		1	2	3	6	23

	90%		1	1	2	4	14
	85%		1	1	1	3	9
3	95%	M	2	3	6	12	47
	90%		2	2	4	7	28
	85%		1	2	2	5	18
	95%	C	3	4	7	15	57
	90%		2	3	4	9	34
	85%		1	2	3	6	22
4	95%	M	3	4	7	14	55
	90%		2	3	4	9	33
	85%		1	2	3	6	21
	95%	C	2	3	4	4	36
	90%		1	2	3	6	22
	85%		1	1	2	4	14
5	95%	M	18	28	50	112	445
	90%		10	15	26	58	230
	85%		6	9	16	35	139
	95%	C	13	19	34	76	302
	90%		7	10	18	39	156
	85%		4	6	11	24	94
6	95%	M	2	3	5	11	43
	90%		1	2	3	6	22
	85%		1	1	2	4	14
	95%	C	8	13	22	49	195
	90%		5	7	12	26	101
	85%		3	4	7	16	61

4.6.2 Acidez

De los siguientes cuadros se puede concluir que la variabilidad del pH en ambos manejos es tan escasa que con apenas una toma en cada uno de los horizontes, se estaría cumpliendo con los niveles de precisión establecidos.

Si bien desde el punto de vista estadístico esta cifra resulta lógica, desde el punto de vista agronómico no es recomendable la extracción de una única toma, ya que no

permitiría estimar parámetros estadísticos, por lo tanto le quita representatividad a la muestra.

La única diferencia se observa en el caso del horizonte transicional bajo campo natural para pH medido en KCl, en donde se necesita un mayor número de muestras, por ser mayor la variabilidad del parámetro.

Cuadro 14- Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de p H medido en agua y en KCl según el nivel de precisión requerido

Prof.	pH H ₂ O Conf.	Manejo	Nivel de Precisión				
			75%	80%	85%	90%	95%
1	95%	M	1	1	1	1	3
	90%		1	1	1	1	2
	85%		1	1	1	1	2
	95%	C	1	1	1	1	2
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1
2	95%	M	1	1	1	1	2
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1
	95%	C	1	1	1	1	2
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1
3	95%	M	1	1	1	1	1
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1
	95%	C	1	1	1	1	1
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1
4	95%	M	1	1	1	1	1
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1
	95%	C	1	1	1	1	1
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1

5	95%	M	1	1	1	2	8
	90%		1	1	1	2	5
	85%		1	1	1	1	3
	95%	C	1	1	1	1	2
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1
6	95%	M	1	1	1	2	5
	90%		1	1	1	1	3
	85%		1	1	1	1	2
	95%	C	1	1	1	1	2
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1

Prof.	pH	Manejo	Nivel de Precisión				
	KCl		75%	80%	85%	90%	95%
1	%	M					
	Conf.						
	95%		1	1	1	1	4
	90%		1	1	1	1	2
	85%		1	1	1	1	2
	95%		C	1	1	1	1
90%	1	1		1	1	2	
85%	1	1		1	1	2	
2	95%	M	1	1	1	1	3
	90%		1	1	1	1	2
	85%		1	1	1	1	1
	95%	C	1	1	1	1	3
	90%		1	1	1	1	2
	85%		1	1	1	1	2
3	95%	M	1	1	1	1	2
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1
	95%	C	1	1	1	1	3
	90%		1	1	1	1	2
	85%		1	1	1	1	1
4	95%	M	1	1	1	1	2

	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1
	95%	C	1	1	1	1	2
	90%		1	1	1	1	1
	85%		1	1	1	1	1
5	95%	M	1	1	1	2	7
	90%		1	1	1	1	4
	85%		1	1	1	1	3
	95%	C	1	1	1	1	3
	90%		1	1	1	1	2
	85%		1	1	1	1	1
6	95%	M	1	1	1	2	6
	90%		1	1	1	1	3
	85%		1	1	1	1	2
	95%	C	2	3	4	9	34
	90%		1	2	2	5	18
	85%		1	1	2	3	11

Para la variable Acidez intercambiable, se observa una gran variabilidad del parámetro, por lo que el número mínimo de muestras a tomar para conformar la muestra compuesta es elevado aun con niveles de precisión bajos, en comparación con las variables citadas anteriormente.

Cabe destacar que el origen de la magnitud de estos resultados no radica solamente en alta variabilidad existente, ya que se suma el efecto de que por ser tan bajos los valores individuales obtenidos, el coeficiente de variación termina superando al valor de la media, es decir mayor al 100 %.

Asimismo, cabe destacar que los resultados tan altos de número mínimo de muestras necesario podrían estar asociados a la variabilidad de las determinaciones analíticas dadas por errores cometidos durante la medición, por las propias características de la titulación.

Cuadro 15- Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de Acidez intercambiable según el nivel de precisión requerido

Nivel de Precisión

Prof.	% Conf.	Manejo	75%	80%	85%	90%	95%
1	95%	M	29	45	79	177	705
	90%		17	27	47	105	418
	85%		11	17	31	68	270
	95%	C	30	46	81	182	725
	90%		18	27	48	108	431
	85%		12	18	31	70	278
2	95%	M	16	25	43	97	387
	90%		10	15	26	58	230
	85%		6	10	17	38	149
	95%	C	34	53	93	209	833
	90%		20	31	55	124	494
	85%		13	20	36	80	319
3	95%	M	5	7	13	28	109
	90%		3	5	8	17	65
	85%		2	2	5	11	42
	95%	C	22	34	59	133	529
	90%		13	20	35	79	314
	85%		9	13	23	51	203
4	95%	M	5	8	14	30	120
	90%		3	5	8	18	71
	85%		2	3	6	12	46
	95%	C	22	34	60	60	539
	90%		13	21	36	80	320
	85%		9	13	23	52	207
5	95%	M	11	17	30	66	262
	90%		6	9	16	34	136
	85%		4	6	10	21	82
	95%	C	19	30	52	117	467
	90%		10	16	27	61	242
	85%		6	10	17	37	146
6	95%	M	9	13	23	51	202
	90%		5	7	12	27	105
	85%		3	4	8	16	63
	95%	C	35	55	97	218	872
	90%		19	29	51	112	452

85%	11	18	31	68	272
------------	----	----	----	----	-----

4.6.3 Bases intercambiables

Para el caso de las siguientes variables, se observa que no es necesario realizar un muy alto número de tomas ya que la variabilidad de las bases totales en general es relativamente baja. No obstante hay algunas diferencias en cuanto al número de tomas para conformar la muestra compuesta dependiendo de la profundidad.

Cuadro 16- Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de Bases Totales según el nivel de precisión requerido.

Prof.	% Conf.	Manejo	Nivel de Precisión				
			75%	80%	85%	90%	95%
1	95%	M	1	2	3	5	20
	90%		1	1	2	3	12
	85%		1	1	1	2	8
	95%	C	2	3	5	10	37
	90%		1	2	3	6	22
	85%		1	1	2	4	14
2	95%	M	1	2	2	5	18
	90%		1	1	2	3	11
	85%		1	1	1	2	7
	95%	C	2	2	3	7	26
	90%		1	1	2	4	16
	85%		1	1	2	3	10
3	95%	M	1	1	2	4	13
	90%		1	1	1	2	8
	85%		1	1	1	2	5
	95%	C	2	3	4	9	33
	90%		1	2	3	5	20
	85%		1	1	2	4	13
4	95%	M	1	1	2	4	13
	90%		1	1	1	2	8
	85%		1	1	1	2	5
	95%	C	2	2	3	3	27
	90%		1	1	2	4	16

5	85%	M	1	1	2	3	11
	95%		4	6	11	23	92
	90%		2	3	6	12	48
	85%	C	2	2	4	8	29
	95%		2	4	6	13	49
90%	2		2	3	76	26	
6	85%	M	1	1	2	4	16
	95%		1	1	2	4	13
	90%		1	1	1	2	7
	85%	C	1	1	1	1	4
	95%		2	2	4	8	32
	90%		1	2	2	5	17
	85%		1	1	2	3	10

Cuadro 17- Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de Ca^{2+} intercambiable según el nivel de precisión requerido.

Prof.	%	Manejo	Nivel de Precisión				
			75%	80%	85%	90%	95%
1	Conf.	M					
	95%		2	3	4	9	36
	90%		1	2	3	6	21
	85%	C	1	1	2	4	14
	95%		2	3	6	12	48
	90%		2	2	4	8	29
2	85%	M	1	2	3	5	19
	95%		3	4	7	15	59
	90%		2	3	4	9	35
	85%	C	1	2	3	6	23
	95%		2	3	6	12	47
	90%		2	2	4	7	28
3	85%	M	1	2	3	5	18
	95%		2	3	6	13	50
	90%		2	2	4	8	30

	85%		1	2	3	5	19
	95%	C	3	4	7	14	55
	90%		2	3	4	9	33
4	85%		1	2	3	6	22
	95%	M	2	2	4	8	29
	90%		1	2	2	5	18
5	85%		1	1	2	3	12
	95%	C	2	3	5	5	42
	90%		1	2	3	7	25
	85%		1	1	2	4	16
	95%	M	6	9	15	34	135
	90%		3	5	8	18	70
6	85%		2	3	5	11	42
	95%	C	6	9	16	35	138
	90%		3	5	8	18	72
	85%		2	3	5	11	43
	95%	M	1	2	2	5	17
	90%		1	1	1	3	9
	85%		1	1	1	2	6
	95%	C	1	2	3	7	25
	90%		1	1	2	4	13
	85%		1	1	1	2	8

Cuadro 18- Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de K⁺ intercambiable según el nivel de precisión requerido.

Prof.	% Conf.	Manejo	Nivel de Precisión				
			75%	80%	85%	90%	95%
1	95%	M	1	2	3	5	19
	90%		1	1	2	3	11
	85%		1	1	1	2	7
	95%	C	2	3	5	11	40
	90%		1	2	3	6	24
	85%		1	1	2	4	16
2	95%	M	2	2	3	7	26
	90%		1	1	2	4	16

	85%		1	1	2	3	10
	95%	C	2	3	4	9	34
	90%		1	2	3	5	20
3	85%		1	1	2	4	13
	95%	M	3	4	7	15	58
	90%		2	3	4	9	35
	85%		1	2	3	6	23
	95%	C	5	7	12	27	105
	90%		3	4	7	16	62
4	85%		2	3	5	10	40
	95%	M	3	4	7	14	55
	90%		2	3	4	9	33
	85%		1	2	3	6	22
	95%	C	2	3	6	6	48
	90%		2	2	4	8	29
5	85%		1	2	3	5	19
	95%	M	1	2	2	5	18
	90%		1	1	1	3	9
	85%		1	1	1	2	6
	95%	C	3	4	7	16	61
	90%		2	2	4	8	32
6	85%		1	2	3	5	19
	95%	M	6	9	15	33	129
	90%		3	5	8	17	67
	85%		2	3	5	10	40
	95%	C	1	2	3	6	23
	90%		1	1	2	3	12
	85%		1	1	1	2	7

Cuadro 19- Cálculo del tamaño mínimo de muestra para estimación del contenido de Mg^{2+} intercambiable según el nivel de precisión requerido.

Prof.	% Conf.	Manejo	Nivel de Precisión				
			75%	80%	85%	90%	95%
1	95%	M	1	1	1	2	8

	90%		1	1	1	2	5
	85%		1	1	1	1	3
	95%	C	2	3	5	10	40
	90%		1	2	3	6	24
	85%		1	1	2	4	16
2	95%	M	1	2	3	6	21
	90%		1	1	2	4	13
	85%		1	1	1	2	8
	95%	C	1	2	3	6	22
	90%		1	1	2	4	13
	85%		1	1	1	3	9
3	95%	M	1	2	3	6	22
	90%		1	1	2	4	13
	85%		1	1	1	3	9
	95%	C	2	3	4	9	33
	90%		1	2	3	5	20
	85%		1	1	2	4	13
4	95%	M	1	2	2	5	18
	90%		1	1	2	3	11
	85%		1	2	1	2	7
	95%	C	2	3	5	5	39
	90%		1	2	3	6	23
	85%		1	1	2	4	15
5	95%	M	5	8	13	29	114
	90%		3	4	7	15	59
	85%		2	3	4	9	36
	95%	C	1	2	3	5	20
	90%		1	1	2	3	11
	85%		1	1	1	2	7
6	95%	M	1	2	3	6	22
	90%		1	1	2	3	11
	85%		1	1	1	2	7
	95%	C	4	6	10	21	82
	90%		2	3	5	11	43
	85%		2	2	3	7	26

5 CONCLUSIONES

El muestreo estratificado permitió constatar cambios en los parámetros químicos del suelo que en un muestreo por horizontes genéticos probablemente no hubieran sido notados.

En el sitio bajo estudio se observó un cambio en las propiedades químicas del suelo, cuando ocurre el cambio de vegetación, de pastoril a forestal. Los contenidos de carbono orgánico no mostraron diferencias significativas entre los primeros estratos de muestreo (de 0 a 20 cm), aunque se observó una tendencia a incrementarse en profundidad en el suelo bajo monte. Esto podría estar explicado por la descomposición de restos acumulados en el mantillo forestal sobre la superficie del suelo (horizonte O) bajo monte, y posterior lixiviación de los compuestos resultantes hacia horizontes inferiores.

Los parámetros de acidez mostraron un incremento de la misma en el suelo bajo monte, en todas las profundidades de muestreo evaluadas, excepto el primer estrato de 0-5 cm. Esto último estuvo asociado a un mayor contenido de bases de intercambio en dicha profundidad, lo cual podría estar explicado por el aporte realizado a partir de la descomposición del mantillo. Dicho efecto resultó más notorio para la concentración de Ca. El aumento de la acidez intercambiable en capas más profundas del horizonte A del suelo bajo monte estuvo también asociado a una disminución en el contenido de bases de intercambio. Esto tendría su explicación en la mayor absorción por parte de las raíces de los árboles.

Las herramientas de geo-estadística utilizadas permitieron corroborar la no existencia de patrones de variación definidos en sentido horizontal en una superficie de muestreo homogénea como la considerada, siendo la variación horizontal observada debida al azar.

En referencia a una definición de criterios de muestreo, se puede concluir que para todos los parámetros evaluados y profundidades estudiadas, cuanto mayor es la variabilidad observada mayor será el número de tomas necesario para cubrir los diferentes niveles de precisión y confianza establecidos.

Para estudios similares, en los cuales se realice un muestreo con el nivel de estratificación igual al realizado en este estudio, en el cual se pretenda lograr una precisión de 95% y un nivel de confianza de 90%, se deberían tomar no menos de 35 muestras en el suelo bajo monte y 62 en el suelo bajo campo. Aquí cabe destacar que este valor de tomas tan elevado para el campo natural, se debe a la mayor variabilidad

que presentan los contenidos de K^+ intercambiable, sin embargo si se excluyera éste del análisis, 35 tomas serían suficientes para alcanzar los niveles de confianza y precisión establecidos, al igual que para el manejo bajo monte.

Estos valores consideran los resultados obtenidos en cuanto a número mínimo de tomas a extraer para estimar la magnitud de la acidez intercambiable, dado que se encontró una altísima variabilidad de este parámetro, explicada en parte por la alta variabilidad en el método de análisis, especialmente cuando los valores son bajos.

Para el caso específico del pH, es importante destacar que si bien estadísticamente una única toma sería suficiente para un nivel de confianza y precisión adecuados, desde el punto de vista agronómico no sería recomendable, sino que podría establecerse un número mínimo de cinco tomas para este tipo de muestreo.

Se esperaba que a mayor profundidad del horizonte A del perfil, existiera menor variabilidad, dada una menor influencia de factores climáticos, menor actividad de la micro y mesofauna, menor presencia de raíces, y consecuentemente menor intercambio gaseoso. Sin embargo, se observó que a mayor profundidad la variabilidad existente aumentó, en general para todas las variables y para ambos manejos, y por lo tanto indicaría que es necesario realizar un número de tomas de la magnitud del propuesto para conformar la muestra compuesta. En lo que respecta a horizontes sub-superficiales, dadas las características del suelo en estudio, el cual presenta un horizonte transicional discontinuo, no sería recomendable el muestreo de este horizonte, dado que puede tratarse de un horizonte E, AB o BA, lo que llevaría a considerar como iguales horizontes que son diferentes. Asimismo esto está relacionado con lo que ocurre con el horizonte Bt, dado que es necesario ser más preciso en cuanto a la porción que se muestrea de este, de manera de no mezclarlo con sus horizontes suprayacentes, principalmente con el horizonte transicional. En caso de muestrear el horizonte Bt es recomendable el muestreo de un sub-horizonte del mismo donde se expresen mejor sus características, y donde sea menos variable horizontalmente.

6. RESUMEN

Con el objetivo de cuantificar la magnitud y los patrones de variación en sentido horizontal y vertical de los contenidos de carbono orgánico, pH, bases y acidez intercambiable de suelo, y definir criterios de muestreo adecuados para su cuantificación, se muestreó la entrefila de un monte de *Eucalyptus dunnii* de diez años de edad y el campo natural aledaño. Se realizó un muestreo sistemático en una grilla de 25 x 25 m, con puntos de muestreo distanciados 5 m entre sí en ambos manejos, Se estudió la variación en profundidad de cada una de las variables, muestreando los estratos 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm del horizonte A, el horizonte transicional y el horizonte Bt. Los contenidos de carbono orgánico no mostraron diferencias significativas entre manejos en los primeros 20 cm, aunque se incrementaron con la profundidad en el suelo bajo monte. Este suelo fue más ácido a todas las profundidades excepto en el primer estrato, en el cual se observaron mayores contenidos de bases de intercambio debidas a la descomposición del mantillo forestal, .. La aplicación de herramientas geo-estadísticas mostró la no existencia de un padrón de variación definido en áreas de muestreo homogéneas. Se recomienda como criterio de muestreo de los primeros 20 cm -al nivel de estratificación realizado- incluir un número mínimo de 35 tomas en la muestra compuesta, para una precisión de 95% y un nivel de confianza de 90%. Se recomienda no muestrear horizontes transicionales dada su alta variabilidad. En el caso del horizonte B, la principal recomendación sería muestrear aquella profundidad donde éste sea más representativo.

Palabras clave: Cambio de uso del suelo; Variabilidad espacial; Carbono orgánico; pH; Bases intercambiables; Acidez intercambiable.

7. SUMMARY

In order to quantify the magnitude and patterns of vertical and horizontal variability in soil organic carbon, pH, exchangeable acidity and bases concentration, and to define sampling criteria for their quantification, two systems were selected: natural pasture for livestock production and a ten- year- old- *Eucalyptus dunnii* plantation. It was applied a systematic sampling, done in a grid of 25 x 25 m, with sampling points separated 5 m from each other, in both sites. Vertical soil variability was studied in the A horizon (0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 cm), transitional and Bt horizon. Soil organic carbon contents in the A horizon were not different between systems, although it was observed an increase in the afforested soil. In this system exchangeable acidity was higher, except in the first layer, in which extractable bases increased due to the recycling of exchangeable bases from the litter decomposition. Geo-statistical tools confirmed no variation patterns for homogeneous sampling areas. It was determined a minimum of 35 soil cores (95% accuracy, 90% probability) for a composite sample for each layer of the A horizon. However, it is not recommended to take samples from the transitional horizons because there was a very high variability. For the Bt horizon, the main recommendation would be to take samples from the most representative portion of it.

Keywords: Change in soil use; Spatial variability; Organic carbon; pH; Exchangeable bases; Exchangeable acidity.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALTAMIRANO, A.; DA SILVA, H.; DURÁN, A.; ECHEVERRÍA, A.; PANARIO, D.; PUENTES, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. t.1, 96 p.
2. BERNIER, R.; ALFARO, M. 2006. Acidez de los suelos y efectos del encalado. INIA. Boletín INIA no. 151. 47 p.
3. BLUMFIELD, T.J; ZHI-HONG; PRASOLOVA, N.V. 2007. Sampling size required for determining soil carbon and nitrogen properties at early establishment of second rotation hoop pine plantations in subtropical Australia. s.l., Soil Science Society of China. 6 p.
4. BRADY, N.; WEIL, R. 2008. The nature and properties of soils. New Jersey, Pearson Prentice Hall. 965 p.
5. CABRERA, M.; CAL, A. 2007. Cambios en propiedades 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. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 96 p.
6. CASANOVA, O.; FERRANDO, M. 2010. Principales interrogantes en el manejo de la nutrición de plantas. Montevideo, UDELAR. Área Agraria, CSIC. 210 p.
7. CORA, A.; BACHMEIER, O. A. 2006. Número mínimo de muestras necesario para un muestreo edáfico en el Chaco Árido de Córdoba, Argentina. Mendoza, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. pp.97- 102.
8. DELGADO, S. ; ALLIAUME, F. ;GARCÍA PRÉCHAC, F. ; HERNÁNDEZ, J. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. sobre el recurso suelo en Uruguay. Agrociencia (Montevideo). 10(2): 95 – 107.
9. DURÁN, A. 1998. Contenido y distribución geográfica de Carbono en suelos del Uruguay. Agrociencia (Montevideo). 2(1). 37- 47.
10. _____; GARCÍA PRÉCHAC, F. 2007. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. v.2, 358 p.

11. FAGERIA, N. K. 2009. The use of nutrients in crop plants. Boca Ratón, FL, CRC. 430 p.
12. 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 químicas y físicas del suelo. *Agrociencia* (Montevideo). 5(1). 1 - 9.
13. GONZÁLEZ, A. 2008. Extracción y reciclaje de nutrientes por cosecha de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 49 p.
14. GOOVAERTS, P. 1997. Geostatistics in soil science; state-of-the-art and perspectives. Ann Arbor, The University of Michigan. Department of Civil and Environmental Engineering. s.p.
15. 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. p. irr.
16. HENRÍQUEZ, C.; KILLORN, R.; BERTSCH, F.; SANCHO, F. 2005. La geoestadística en el estudio de la variación espacial de la fertilidad del suelo mediante el uso del interpolador Kriging. *Agronomía Costarricense* (San José) 29 (2): 73-81.
17. HERNÁNDEZ, J.; DEL PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE, G. 2009. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. *Montevideo, Forest Ecology and Management*. pp. 92-99.
18. _____. 2010. Evolución de parámetros químicos de suelos bajo forestación; acidez, bases, materia orgánica. In: Jornadas de Actualización Técnica 10 Años de Investigación en Producción Forestal. (1as., 2010, Montevideo, Uruguay). Productividad y preservación de los recursos suelo y agua. s.n.t. pp. 16-19.
19. _____.; DEL PINO, A.; PÉREZ BIDEGAIN, M.; CALIFRA, A.; MARTÍNEZ, L.; VÁZQUEZ, N.; ARRARTE, G.; DEMARCO, L. 2011. Proyecto mejores prácticas de manejo de suelos en plantaciones y replantaciones de eucalipto y pino; informe de avances. Montevideo, Facultad de Agronomía. 30 p.

20. JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. 1982. Applied multivariate statistical analysis. Madison, University of Wisconsin. 767 p.
21. KRAVCHENKO, A. N.; ROBERTSON, G. P. 2011. Whole-profile soil carbon stocks; the danger of assuming too much for analyses of too little. Soil and Water Management & Conservation. Soil Science Society of American Journal. 75 (1): 235-240.
22. LOZARES COLINA, C.; LOPEZ ROLDÁN, P. 1991. El análisis multivariado; definición, criterios y clasificación. Barcelona, Universitat Autònoma de Barcelona. Department de Sociologia. pp. 9-29.
23. MARTINO, D.; BENNAJDI, Z.; FOSSATI, A.; PAGLIANO, D.; VAN HOFF, E. 1997. La forestación con Eucalyptus en Uruguay; su impacto sobre los recursos naturales y el ambiente. Montevideo, INIA. 24 p. (Serie Técnica no. 88).
24. _____. _____. 2007. Estadísticas y mercado. Total de Bosques; según relevamiento satelital. (en línea). Montevideo. Consultado set. 2011. Disponible en <http://mgap.gub.uy/Forestal>.
25. MOLINA, E. s.f. Análisis de suelos y su interpretación. s.l., Universidad de Costa Rica. 8 p.
26. MORÓN, A. 1996. El rol del carbono en los sistemas productivos agropecuarios. Montevideo, INIA. 7 p. (Serie Técnica no. 76).
27. PHILIP, J. ; POLGLASE, K.; PARTAP, I. P.; KHANNA, K.; GWINYAI NYAKUENGAMA, J.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S.; BATTAGLIA, M. 2000. Change in soil carbon following afforestation or reforestation. s.l., CSIRO. 117 p. (National Carbon Accounting System Technical Report no. 20)
28. SÁNCHEZ, G. 2011. Descomposición de restos de cosecha de *Eucalyptus sp.* y *Pinus taeda* en condiciones controladas de humedad y temperatura. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 89 p.
29. SILVA, A. 2001. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 46 p.
30. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN FORESTAL. 1987. Ley de Promoción Forestal 15.939 y

decretos reglamentarios 452/88, 191/06, 220/06 (en línea). Montevideo. s.p.
Consultado ago. 2010. Disponible en
<http://www.mgap.gub.uy/Forestal/DGF.htm>

9. ANEXOS

Valores de pH medido en agua y Kcl, acidez intercambiable, y contenidos de bases intercambiables y carbono orgánico en los puntos muestreados bajo monte.

Manejo	Prof.	pH	pH	Al	Ca	Mg	K	Na	BT	C
		(H ₂ O)	(KCl)							
						(cmolc kg ⁻¹)				(g Kg ⁻¹)
M	1	6,33	5,05	0,06	3,08	0,97	0,26	0,32	4,63	15,35
M	1	6,29	5,40	0,04	3,78	1,06	0,24	0,28	5,36	15,35
M	1	5,98	5,04	0,06	2,75	0,88	0,23	0,32	4,18	13,90
M	1	5,85	4,99	0,00	3,14	0,90	0,24	0,36	4,64	14,63
M	1	5,96	5,19	0,03	3,37	0,88	0,28	0,30	4,83	15,99
M	1	5,80	5,32	0,07	3,00	0,91	0,20	0,32	4,43	12,89
M	1	5,88	5,08	0,00	3,32	0,94	0,27	0,33	4,86	13,40
M	1	5,39	4,50	0,00	2,14	0,82	0,20	0,28	3,44	10,48
M	1	5,97	5,08	0,03	3,19	0,98	0,22	0,42	4,81	13,86
M	1	6,20	5,22	0,00	3,55	0,95	0,25	0,38	5,13	15,31
M	1	5,53	4,42	0,00	1,82	0,85	0,21	0,35	3,23	10,61
M	1	5,88	4,98	0,00	3,04	0,95	0,22	0,35	4,56	13,21
M	1	5,86	5,13	0,05	3,21	0,88	0,19	0,30	4,58	11,79
M	1	6,00	5,07	0,00	3,30	0,99	0,23	0,32	4,84	11,88
M	1	5,75	4,80	0,11	2,96	0,94	0,21	0,31	4,42	13,64
M	1	5,67	4,73	0,06	2,70	0,89	0,23	0,31	4,13	12,04
M	1	6,28	5,51	0,05	3,76	1,02	0,23	0,35	5,36	9,95
M	1	5,59	4,83	0,09	2,97	0,94	0,22	0,30	4,43	11,07
M	1	5,58	4,65	0,08	2,71	1,00	0,20	0,30	4,21	13,71
M	1	5,51	5,03	0,07	2,56	0,97	0,19	0,41	4,13	13,29
M	1	5,46	4,99	0,04	1,83	0,76	0,18	0,37	3,14	9,46
M	1	5,50	4,80	0,08	2,37	0,81	0,24	0,38	3,80	10,61
M	1	5,43	4,70	0,08	2,92	0,97	0,27	0,37	4,53	12,84
M	1	5,88	4,78	0,03	2,97	0,88	0,24	0,4	4,49	11,59
M	1	5,77	4,87	0,05	2,77	1,04	0,28	0,33	4,42	13,16
M	2	5,46	4,05	0,38	1,02	0,67	0,22	0,27	2,18	8,13
M	2	5,28	4,06	0,37	0,76	0,73	0,22	0,29	2,00	9,39
M	2	5,03	3,83	0,71	0,78	0,71	0,23	0,30	2,02	8,76
M	2	5,10	3,80	0,81	0,78	0,69	0,30	0,36	2,13	8,40
M	2	5,21	4,07	0,67	1,04	0,67	0,27	0,31	2,29	7,51

M	2	5,20	4,02	0,20	0,81	0,65	0,19	0,32	1,97	6,20
M	2	5,07	4,06	0,24	1,02	0,64	0,25	0,33	2,24	3,61
M	2	4,94	3,83	0,91	0,72	0,66	0,23	0,30	1,91	4,81
M	2	5,31	4,07	0,40	0,96	0,67	0,25	0,41	2,29	6,61
M	2	5,19	3,91	0,66	0,83	0,71	0,24	0,36	2,14	6,12
M	2	4,96	3,70	0,47	0,37	0,60	0,23	0,32	1,52	5,32
M	2	5,14	3,96	0,19	0,73	0,65	0,20	0,29	1,87	5,16
M	2	5,46	3,93	0,28	0,89	0,71	0,24	0,33	2,17	7,57
M	2	5,16	3,90	0,18	0,87	0,85	0,28	0,35	2,35	6,74
M	2	5,06	3,89	0,72	0,91	0,60	0,35	0,34	2,20	7,06
M	2	5,26	3,95	0,43	1,01	0,64	0,23	0,27	2,15	6,26
M	2	5,56	4,48	0,15	1,38	0,83	0,22	0,32	2,75	5,94
M	2	4,80	4,07	1,03	0,72	0,61	0,21	0,30	1,84	5,46
M	2	4,88	3,81	1,46	0,58	0,54	0,21	0,33	1,66	8,00
M	2	5,07	3,91	0,80	0,65	0,49	0,21	0,34	1,69	6,86
M	2	5,30	4,33	0,18	0,77	0,61	0,22	0,37	1,97	6,13
M	2	5,08	3,99	0,65	0,76	0,47	0,28	0,43	1,94	6,71
M	2	4,82	3,80	0,88	0,89	0,75	0,23	0,28	2,15	6,42
M	2	5,15	3,91	0,79	0,84	0,61	0,25	0,34	2,04	5,48
M	2	5,28	4,05	0,80	0,93	0,63	0,28	0,38	2,22	6,42
M	3	5,18	3,81	0,92	0,66	0,53	0,24	0,27	1,70	6,59
M	3	5,00	3,77	0,90	0,36	0,51	0,32	0,33	1,52	8,67
M	3	4,90	3,66	1,40	0,62	0,58	0,28	0,35	1,83	6,50
M	3	5,05	3,69	1,17	0,58	0,53	0,30	0,37	1,78	7,67
M	3	5,20	3,90	0,82	0,63	0,51	0,26	0,33	1,73	6,69
M	3	4,92	3,77	1,04	0,43	0,53	0,22	0,37	1,55	5,87
M	3	4,94	3,81	0,78	0,62	0,44	0,28	0,32	1,66	6,20
M	3	4,86	3,76	1,04	0,64	0,55	0,27	0,33	1,79	4,12
M	3	5,23	3,87	0,76	0,50	0,47	0,33	0,37	1,67	5,48
M	3	4,99	3,64	0,56	0,48	0,35	0,25	0,31	1,39	4,03
M	3	4,91	3,65	0,64	0,59	0,54	0,29	0,42	1,84	4,51
M	3	4,96	3,79	0,58	0,44	0,46	0,26	0,31	1,47	4,35
M	3	4,79	3,99	0,79	0,70	0,54	0,28	0,34	1,86	6,84
M	3	4,98	3,74	0,63	0,69	0,63	0,29	0,35	1,96	6,10
M	3	4,98	3,70	1,15	0,62	0,48	0,26	0,40	1,76	6,74
M	3	5,14	3,84	0,80	0,80	0,49	0,22	0,32	1,83	4,81
M	3	5,16	4,00	0,69	0,80	0,60	0,31	0,36	2,07	5,62

M	3	4,85	3,78	1,40	0,52	0,46	0,20	0,36	1,54	4,98
M	3	4,90	3,73	1,67	0,70	0,52	0,19	0,35	1,76	6,53
M	3	5,05	3,80	1,18	0,71	0,67	0,23	0,29	1,90	7,44
M	3	5,11	4,18	0,63	0,72	0,43	0,25	0,36	1,76	5,55
M	3	5,00	4,06	0,92	0,57	0,51	0,25	0,35	1,68	6,28
M	3	4,73	3,67	1,27	0,57	0,58	0,19	0,3	1,64	5,48
M	3	5,00	3,75	1,04	0,89	0,48	0,25	0,38	2,00	4,54
M	3	5,20	3,98	0,91	0,8	0,42	0,49	0,42	2,13	5,17
M	4	5,09	3,79	0,96	0,63	0,46	0,19	0,24	1,52	6,86
M	4	5,07	3,79	0,74	0,78	0,53	0,25	0,35	1,91	6,89
M	4	4,97	3,64	1,20	1,03	0,48	0,26	0,31	2,08	7,04
M	4	5,22	3,83	0,94	0,84	0,44	0,30	0,63	2,21	6,59
M	4	5,17	3,84	0,47	0,92	0,52	0,24	0,36	2,04	7,02
M	4	4,85	3,74	1,08	0,61	0,49	0,29	0,31	1,70	6,11
M	4	4,99	3,88	0,57	1,01	0,42	0,25	0,35	2,03	5,33
M	4	4,97	3,81	0,88	0,85	0,56	0,30	0,73	2,44	3,95
M	4	5,26	3,85	0,73	0,77	0,46	0,32	0,68	2,23	3,87
M	4	4,97	3,62	0,67	0,72	0,36	0,25	0,41	1,74	4,83
M	4	4,90	3,62	0,55	0,86	0,48	0,26	0,59	2,19	3,71
M	4	5,04	3,69	0,46	0,80	0,42	0,26	0,32	1,80	3,87
M	4	4,97	3,82	0,53	1,05	0,53	0,23	0,37	2,18	6,99
M	4	5,08	3,71	0,69	1,00	0,57	0,23	0,37	2,17	6,26
M	4	5,00	3,78	0,99	1,01	0,53	0,24	0,37	2,15	6,74
M	4	5,07	3,81	0,87	0,88	0,46	0,21	0,30	1,85	3,69
M	4	5,21	3,82	0,79	0,85	0,58	0,30	0,35	2,08	4,49
M	4	4,85	3,76	1,38	0,94	0,51	0,17	0,33	1,95	5,46
M	4	4,87	3,93	1,50	1,00	0,60	0,14	0,49	2,23	6,85
M	4	5,06	3,82	1,08	0,77	0,55	0,15	0,41	1,88	5,64
M	4	5,04	4,21	0,58	0,79	0,45	0,22	0,37	1,83	5,25
M	4	4,99	4,04	0,87	1,01	0,45	0,23	0,40	2,09	5,84
M	4	4,77	3,67	1,08	1,05	0,6	0,14	0,39	2,18	5,17
M	4	5,04	3,74	1,14	1,1	0,45	0,18	0,42	2,15	4,70
M	4	5,22	4,01	0,86	1,11	0,49	0,22	0,41	2,23	4,54
M	5	5,19	3,73	0,74	3,17	0,97	0,23	0,36	4,73	6,36
M	5	5,06	3,90	0,25	3,80	1,03	0,26	0,41	5,50	2,75

C	1	5,65	4,93	0,06	2,15	0,85	0,26	0,31	3,57	13,11
C	1	5,65	4,78	0,10	1,17	0,55	0,19	0,3	2,21	9,43
C	1	5,94	5,15	0,13	1,72	0,62	0,2	0,31	2,85	9,55
C	1	5,60	4,94	0,09	1,9	0,66	0,23	0,31	3,1	14,33
C	1	5,59	4,76	0,14	1,53	0,65	0,19	0,28	2,65	10,98
C	1	5,59	4,79	0,14	1,52	0,62	0,22	0,31	2,67	9,71
C	2	5,56	4,59	0,11	1,02	0,51	0,12	0,37	2,02	4,64
C	2	5,57	4,58	0,03	0,95	0,59	0,17	0,37	2,08	7,03
C	2	5,54	4,42	0,12	1,23	0,53	0,26	0,43	2,45	6,13
C	2	5,45	4,55	0,06	1,29	0,58	0,23	0,37	2,47	7,62
C	2	5,65	4,62	0,14	1,37	0,5	0,18	0,46	2,51	6,13
C	2	5,36	4,43	0,13	1,1	0,47	0,42	0,4	2,39	4,49
C	2	5,13	4,15	0,14	1,25	0,55	0,18	0,31	2,29	5,53
C	2	5,48	4,51	0,00	1,55	0,56	0,14	0,36	2,61	5,17
C	2	5,56	4,82	0,00	1,52	0,6	0,23	0,4	2,75	6,11
C	2	5,93	5,03	0,00	1,81	0,61	0,26	0,36	3,04	6,27
C	2	5,60	4,48	0,00	1,47	0,5	0,21	0,51	2,69	6,18
C	2	5,66	4,43	0,00	1,45	0,5	0,21	0,48	2,64	6,98
C	2	5,63	4,60	0,07	1,17	0,47	0,16	0,34	2,14	6,66
C	2	5,44	4,33	0,00	0,84	0,46	0,15	0,36	1,81	7,29
C	2	5,54	4,54	0,06	1,24	0,49	0,22	0,35	2,3	7,61
C	2	5,23	4,29	0,13	0,99	0,34	0,18	0,29	1,8	6,66
C	2	5,76	5,08	0,04	1,06	0,44	0,18	0,39	2,07	5,43
C	2	5,47	4,92	0,07	0,94	0,44	0,16	0,31	1,85	5,75
C	2	5,34	4,80	0,11	1	0,48	0,2	0,35	2,03	6,87
C	2	5,61	4,71	0,06	1,39	0,48	0,25	0,32	2,44	7,19
C	2	5,80	4,50	0,14	1,06	0,44	0,17	0,28	1,95	5,11
C	2	5,48	4,55	0,11	0,94	0,37	0,19	0,33	1,83	6,37
C	2	5,69	4,77	0,08	1,17	0,42	0,19	0,27	2,05	6,05
C	2	5,35	4,40	0,16	1,03	0,45	0,17	0,28	1,93	6,69
C	2	5,41	4,48	0,14	1,21	0,49	0,19	0,51	2,4	6,84
C	3	5,74	4,58	0,16	0,94	0,39	0,12	0,39	1,84	4,04
C	3	5,58	4,49	0,08	0,86	0,47	0,16	0,39	1,88	4,34
C	3	5,46	4,31	0,17	1,17	0,39	0,22	0,4	2,18	5,01
C	3	5,58	4,42	0,06	1,26	0,54	0,26	0,43	2,49	7,47
C	3	5,61	4,50	0,10	1,43	0,56	0,18	0,38	2,55	4,64
C	3	5,44	4,40	0,18	1,19	0,41	0,17	0,42	2,19	4,34

C	3	5,94	4,90	0,13	1,13	0,41	0,17	0,28	1,99	3,74
C	3	5,53	4,49	0,00	1,33	0,47	0,17	0,32	2,29	4,23
C	3	5,54	4,47	0,00	1,41	0,51	0,23	0,35	2,5	4,07
C	3	5,80	4,66	0,00	1,7	0,53	0,26	0,41	2,9	4,86
C	3	5,65	4,38	0,00	1,25	0,42	0,17	0,52	2,36	4,44
C	3	5,63	4,39	0,00	1,34	0,42	0,19	0,46	2,41	4,91
C	3	5,64	4,49	0,08	0,95	0,4	0,16	0,31	1,82	4,91
C	3	5,42	4,29	0,00	0,99	0,38	0,16	0,29	1,82	5,39
C	3	5,47	4,43	0,08	1,03	0,43	0,21	0,34	2,01	6,82
C	3	5,18	4,09	0,16	0,91	0,35	0,17	0,33	1,76	3,96
C	3	5,58	4,95	0,06	0,76	0,36	0,2	0,32	1,64	3,20
C	3	5,47	4,86	0,07	0,87	0,39	0,17	0,33	1,76	3,68
C	3	5,38	4,92	0,07	0,97	0,43	0,22	0,4	2,02	4,80
C	3	5,57	4,66	0,08	1,18	0,38	0,24	0,36	2,16	5,43
C	3	5,48	4,42	0,17	0,69	0,28	0,18	0,29	1,44	3,04
C	3	5,45	4,51	0,12	0,74	0,32	0,18	0,3	1,54	3,50
C	3	5,51	4,62	0,12	1,15	0,4	0,19	0,26	2	5,73
C	3	5,31	4,39	0,17	1,1	0,41	0,19	0,3	2	4,90
C	3	5,44	4,49	0,16	1,09	0,43	0,22	0,54	2,28	5,41
C	4	5,87	4,59	0,13	1,02	0,41	0,14	0,37	1,94	3,59
C	4	5,63	4,52	0,07	1,08	0,49	0,19	0,42	2,18	3,76
C	4	5,49	4,33	0,17	1,1	0,37	0,2	0,43	2,1	4,34
C	4	5,63	4,47	0,12	1,46	0,55	0,29	0,41	2,71	5,23
C	4	5,57	4,48	0,15	1,39	0,5	0,21	0,4	2,5	3,89
C	4	5,40	4,41	0,16	1,11	0,38	0,16	0,38	2,03	2,84
C	4	5,69	4,55	0,15	1,22	0,43	0,18	0,29	2,12	3,74
C	4	5,63	4,48	0,00	1,29	0,45	0,16	0,33	2,23	3,29
C	4	5,54	4,43	0,00	1,43	0,46	0,23	0,38	2,5	4,23
C	4	5,95	4,65	0,00	1,74	0,55	0,26	0,38	2,93	4,54
C	4	5,63	4,36	0,00	1,17	0,35	0,14	0,44	2,1	3,65
C	4	5,67	4,45	0,00	1,44	0,37	0,18	0,44	2,43	3,80
C	4	5,68	4,47	0,06	1,02	0,35	0,15	0,31	1,83	4,76
C	4	5,43	4,31	0,00	0,95	0,39	0,2	0,35	1,89	5,07
C	4	5,50	4,37	0,09	1,26	0,42	0,24	0,33	2,25	5,55
C	4	5,25	4,19	0,16	0,89	0,24	0,17	0,33	1,63	3,49
C	4	5,60	4,81	0,12	1,04	0,37	0,26	0,37	2,04	3,68
C	4	5,35	4,82	0,10	0,89	0,4	0,16	0,37	1,82	3,36

C	4	5,44	4,93	0,09	1,07	0,42	0,21	0,38	2,08	3,84
C	4	5,47	4,60	0,05	1,27	0,39	0,23	0,35	2,24	4,16
C	4	5,42	4,44	0,18	0,73	0,27	0,21	0,3	1,51	3,68
C	4	5,45	4,45	0,14	1,06	0,37	0,16	0,29	1,88	3,26
C	4	5,55	4,53	0,12	1,24	0,38	0,19	0,32	2,13	4,62
C	4	5,44	4,41	0,16	1,17	0,38	0,18	0,32	2,05	5,41
C	4	5,35	4,43	0,15	1,06	0,35	0,18	0,3	1,89	4,46
C	5	5,25	4,40	0,32	0,7	0,32	0,11	0,38	1,51	0,47
C	5	5,54	4,42	0,32	1,1	0,33	0,13	0,37	1,93	1,5
C	5	5,51	4,17	0,23	1,01	0,31	0,14	0,31	1,77	2,06
C	5	5,30	4,21	0,12	0,82	0,35	0,15	0,33	1,65	1,60
C	5	5,61	4,55	0,09	1,42	0,4	0,18	0,29	2,29	1,75
C	6	5,32	4,02	1,67	9,44	4,16	0,64	0,49	14,73	3,76
C	6	5,37	4,04	1,88	9,6	4,26	0,67	0,42	14,95	3,59
C	6	5,50	5,50	0,97	8,37	3,63	0,6	0,36	12,96	6,98
C	6	5,34	4,42	0,42	9,56	3,61	0,8	0,44	14,41	5,43
C	6	5,64	4,32	0,27	7,26	2,34	0,69	0,38	10,67	3,50
